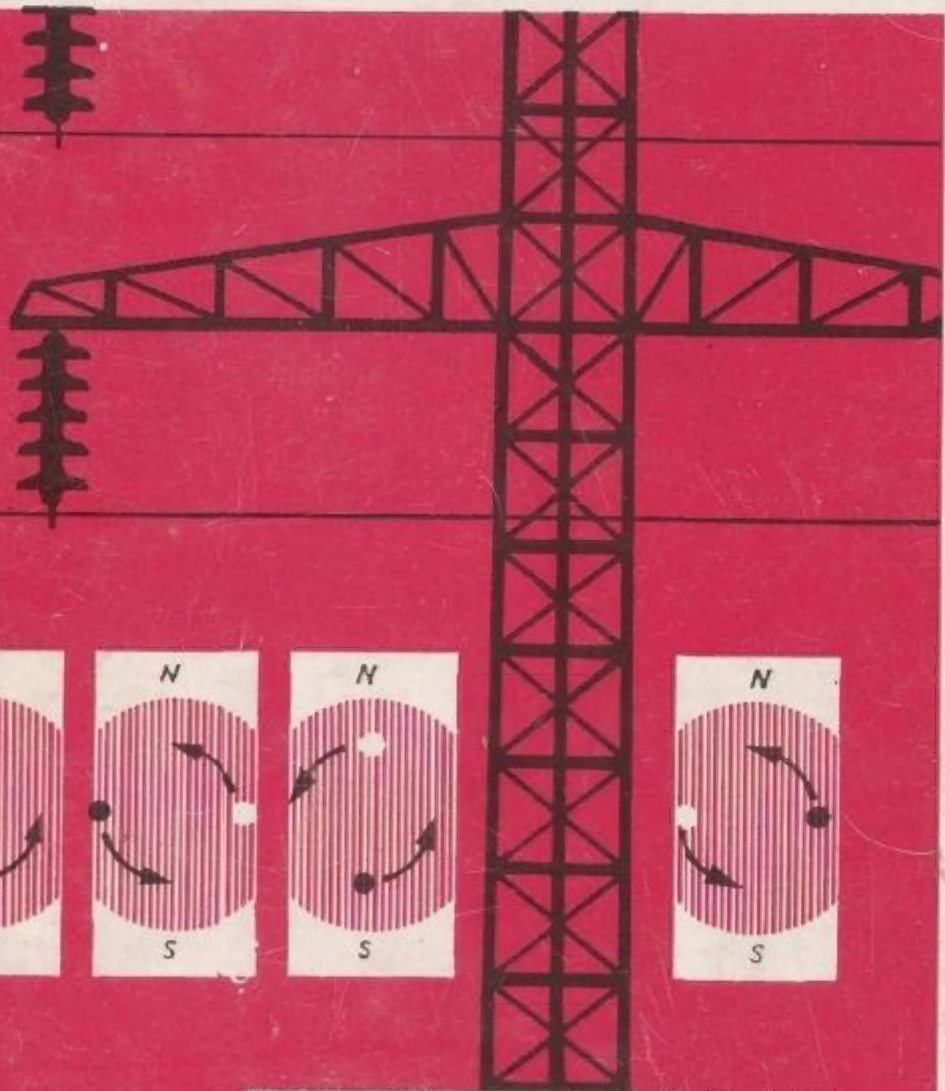
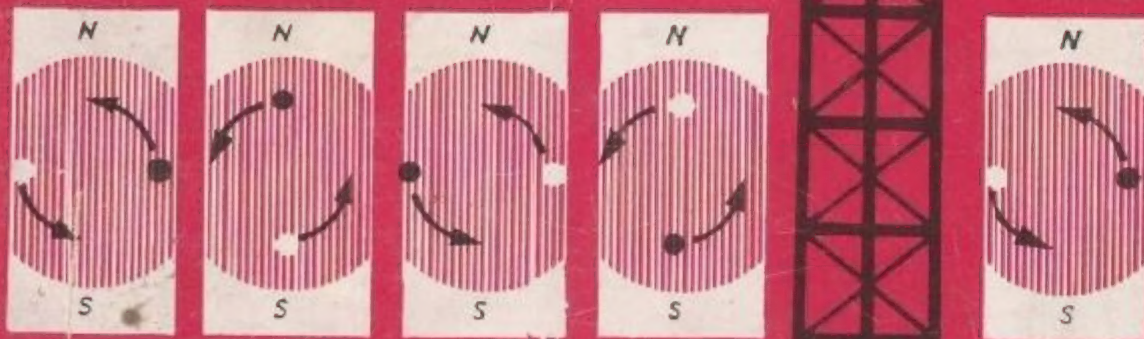


أساسيات الهندسة الكهربائية

الجزء الأول



الأساس
التكنولوجية



أساسيات الهندسة الكهربائية

مؤسسة الأهرام بالقاهرة
المؤسسة الشعبية للتأليف بـ لـ يـ بـ نـ ج

Edition Leipzig and Al-Ahram Cairo

01

در اقصای اقصای اقصای

در اقصای اقصای اقصای
در اقصای اقصای اقصای

در اقصای اقصای اقصای

الأسس التكنولوجية

الترجمة العربية بإشراف

دكتور مهندس أنور محمود عبد الواحد

أساسيات الهندسة الكهربائية

الجزء الأول

تأليف: هاني تـزجـراف

ترجمة: المهندس إدوار يوسف قاضي

المهندس أمين قاسم سليم

c) Edition Leipzig, German Democratic Republic
Arabian Edition by Al-Ahram Cairo

Printed by AL-AHRAM, CAIRO

هذا الكتاب هو الترجمة الكاملة الكتاب

ELECTRICAL ENGINEERING FUNDAMENTALS

TECHNICAL FUNDAMENTALS : من سلسلة :

تصدير

هذه السلسلة - الأسس التكنولوجية - ثمرة تعاون وثيق هادف بين دارين من أكبر دور النشر العالمية ، إحداهما دار النشر في لايبزج Edition Leipzig ، والثانية مؤسسة الأهرام .

وقد تضافرت جهود الدارين على تحقيق النشر العربى لهذه السلسلة الرفيعة التى لقيت كتبها المنشورة بالإنجليزية والفرنسية والأسبانية إقبالا منقطع النظير . ولا عجب أن تلتقى مؤسسة الأهرام هذه السلسلة بالذات لتكون طليعة نشاطها فى مجال النشر العلمى والتكنولوجى .

فالمتمعن لآى كتاب من كتب السلسلة ، أو المستعرض لعناوين الكتب التى صدرت منها حتى الآن ، يجد أن التخطيط لهذه السلسلة يقوم على تبصر عميق باحتياجات الطبقة العريضة من الملاحظين والفنيين الذين يمثلون عصب الإنتاج الصناعى وقوته الكامنة الحقيقية - لذلك فإن دار النشر فى لايبزج قد عهدت إلى أعلام التأليف التكنولوجى فى جمهورية ألمانيا الديمقراطية بتصنيف كتب هذه السلسلة ، كما عهدت مؤسسة الأهرام إلى خيرة المهندسين ورجال العلم ممن لهم نشاط واسع فى مجال الترجمة الفنية للقيام بهذه المهمة .

وواقع الأمر أن فائدة هذه السلسلة غير مقصورة على الملاحظين والفنيين فحسب - بل هى بالغة الأهمية أيضاً للمهندسين الذين يبتغون توسيع آفاق خبراتهم بالاطلاع على التخصصات الأخرى ، ولغير الفنيين الذين يريدون أن تتكامل معلوماتهم فى مختلف المجالات التكنولوجية .

أنور محمود عبد الواحد

مقدمة

كان التصدى للحقائق والمفاهيم والظواهر الخاصة بتكنولوجيا الكهرباء ، يعتبر من المجازفات الكبيرة في صدد تقدم الهندسة الكهربائية خلال السنوات العشر الماضية . والمؤلف على يقين كامل بأن وضع كتاب في أسس الهندسة الكهربائية ، يتناول فقط أهم المفاهيم الأساسية ، والجوانب الضرورية لهذا العلم سوف لا يجعله من النوع الجامع المانع .

وقد تم وضع هذا الكتاب بطريقة تجعل القارئ يلم بالقوانين الأساسية والقواعد المستخلصة من الظواهر الفيزيائية الكهربائية والظواهر الكهربائية التكنولوجية . وقد صيغت عبارات الكتاب بلغة سهلة مبسطة وأسلوب متمتع جذاب . هذا فضلا عن أنه يتيح للقارئ فرصة التعمق في الفروع الأساسية لتكنولوجيا الكهرباء .

أما بالنسبة للصيغ الرياضية المصاحبة لشئ الموضوعات التي تناولها هذا الكتاب ، فقد روعي أن تكون من النوع المبسط نسبيا ، وذلك حتى يصبح بمقدور القارئ القليل الإلمام بالرياضة ، تفهم العلاقات المختلفة التي تعرضنا إليها في هذا الكتاب .

وقد ارتأى الناشر تمشيا مع الهدف من إصدار سلسلة « الأسس التكنولوجية » ، أنه من النافع تماما إصدار كتاب في أسس الهندسة الكهربائية في جزئين ، يشتمل كل منهما على قسمين رئيسيين . يتناول الجزء الأول « أسس الفيزياء التكنولوجية » . و « تمهيد لقياسات الكميات الكهربائية » . ويشتمل الجزء الثاني على « الأبواب الخاصة بهندسة القوى الكهربائية والأساليب الفنية لإعداد البيانات الكهربائية » ، وهذا التقسيم يبدو معقولا تماما ، لأنه يتمشى مع الاتجاهات الحديثة في عرض الموضوعات الخاصة بالهندسة الكهربائية .

وقد أعد هذا الكتاب ليكون بمثابة مرجع تفصيلي للنواعد العلمية لتكنولوجيا الكهرباء ، فهو يحدد الجوانب الأساسية لفروع هذا العلم . ويتضح من ذلك أنه لا يمكن التعويل على هذا الكتاب لتدريب العاملين في فرع معين من الهندسة الكهربائية ، بل هو موجه أساسا لخدمة القراء الذين يرغبون في الحصول على فكرة عامة عن تكنولوجيا الكهرباء ، فضلا عن مداهم بمعلومات تتعلق بموضوعات خاصة . وسوف يعين هذا الكتاب كذلك على تفهم المسائل الأكثر تقدما في هذا العلم بسهولة ويسر .

المقدمة

الحمد لله الذي جعل العلم نوراً يضيء به القلوب ويهدي به السبل
والعلم هو نور القلب والقلب هو نور العلم والقلب هو نور العلم
والعلم هو نور القلب والقلب هو نور العلم والقلب هو نور العلم

والعلم هو نور القلب والقلب هو نور العلم والقلب هو نور العلم
والعلم هو نور القلب والقلب هو نور العلم والقلب هو نور العلم
والعلم هو نور القلب والقلب هو نور العلم والقلب هو نور العلم

والعلم هو نور القلب والقلب هو نور العلم والقلب هو نور العلم
والعلم هو نور القلب والقلب هو نور العلم والقلب هو نور العلم
والعلم هو نور القلب والقلب هو نور العلم والقلب هو نور العلم

والعلم هو نور القلب والقلب هو نور العلم والقلب هو نور العلم
والعلم هو نور القلب والقلب هو نور العلم والقلب هو نور العلم
والعلم هو نور القلب والقلب هو نور العلم والقلب هو نور العلم

والعلم هو نور القلب والقلب هو نور العلم والقلب هو نور العلم
والعلم هو نور القلب والقلب هو نور العلم والقلب هو نور العلم
والعلم هو نور القلب والقلب هو نور العلم والقلب هو نور العلم

المحتويات

صفحة

القسم الأول : الأساسيات الفيزيائية الفنية

الفصل الأول : تأثيرات التيار الكهربائي .

١٩	١/١ - التأثير الحرارى للتيار الكهربائي
٢٠	٢/١ - التأثير الضوئى للتيار الكهربائي
٢١	٣/١ - التأثير المغنطيسى للتيار الكهربائي
٢١	٤/١ - التأثير الكيمياءى للتيار الكهربائي
٢١	٥/١ - التأثيرات التنشيطية للتيار الكهربائي

الفصل الثانى : ما هى الكهرباء

الفصل الثالث : الشحنات الكهربائية

٢٦	١/٣ - الشحنات الكهربائية الثابتة
٢٦	(أ) نبذة تاريخية عن ظواهر الشحنات الكهربائية
٢٧	(ب) تمثيل الشحنات الكهربائية
٣٠	(ج) أجهزة لبيان الشحنة الكهربائية وقياسها
٣٢	(د) خواص الشحنات الكهربائية
٣٥	٢/٣ - الشحنات الكهربائية المتحركة
٣٥	(أ) التيار الكهربائي
٣٦	(ب) آلية توصيل التيار الكهربائي
٣٧	(ج) دائرة التيار الكهربائي

الفصل الرابع : الكميات الكهربائية الأساسية

٤١	١/٤ - شدة التيار
٤٢	(أ) تعريف شدة التيار
٤٣	(ب) وحدة شدة التيار
٤٤	(ج) إيجاد قيمة شدة التيار

٤٥	٢/٤ - كية الكهرباء
٤٥	(١) تعريف كية الكهرباء
٤٦	(ب) وحدة كية الكهرباء
٤٦	٣/٤ - الجهد
٤٦	(١) تعريف الجهد
٤٧	(ب) وحدة الجهد
٤٨	(ج) إمكانيات إيجاد قيمة وحدة الجهد
٤٨	(د) التعاريف المتعددة للجهد
٤٩	٤/٤ - المقاومة :
٤٩	(١) تعريف المقاومة
٤٩	(ب) وحدة المقاومة
٤٩	(ج) إمكانية إيجاد قيمة وحدة المقاومة
٥٠	الفصل الخامس : العلاقة المتبادلة بين شدة التيار والجهد والمقاومة (قانون أوم) .
٥٠	١/٥ - الخصائص المميزة لشدة التيار / الجهد .
٥١	٢/٥ - الخصائص المميزة لشدة التيار / المقاومة
٥٣	٣/٥ - تفسير قانون أوم
٥٦	(١) تعريف وحدة المقاومة
٥٦	٤/٥ - حسابات الدائرة الكهربائية الأساسية
٦١	الفصل السادس : مواد الموصلات ، ومواد المقاومات ، والمواد العازلة
٦١	١/٦ - العلاقة بين المقاومة (م) والطول (ل) ومساحة المقطع المستعرض
٦١	(ج) للموصل .
٦١	(١) العلاقة بين مقاومة موصل وطوله
٦٢	(ب) العلاقة بين مقاومة موصل ومساحة مقطعه المستعرض
٦٤	٢/٦ - المقاومة والموصلية .
٦٤	(١) المقاومة
٦٥	(ب) الموصلية
٦٧	٣/٦ - مواد الموصلات .
٦٧	(١) مواد الموصلات وقيم مقاومتها .
٦٧	(ب) وصف موجز لمواد الموصلات

٦٨	٤/٦ - مواد المقاومة
٦٨	(أ) قيمها ووصف موجز لها
٧٠	(ب) أنواع المقاومات
٧٣	(ج) تأثير درجة الحرارة على المقاومة
٧٦	٥/٦ - المواد العازلة
٧٦	(أ) تصنيف المواد العازلة
٧٦	(ب) قيم المقاومة للمواد العازلة
٧٧	(ج) شرح موجز لبعض مواد عازلة
٧٩	(د) متانة الوسط الكهربائي العازل
٨١	الفصل السابع : دوائر بسيطة وشبكات كهربائية
٨١	١/٧ - الطرق المختلفة لتوصيل المقاومات
٨٣	٢/٧ - الدوائر البسيطة
٨٥	(أ) هبوط الجهد وفقد الجهد
٨٧	٣/٧ - الشبكات
	(أ) إيجاد قيمة المقاومة المكافئة للمقاومات الموصلة على التوازي
٩٠	في حالات خاصة
٩٢	(ب) مقارنة بين دوائر التوالي والتوازي
٩٣	الفصل الثامن : الشغل والقدرة والكفاءة الكهربائية
٩٣	١/٨ - ملاحظات عامة على الشغل والقدرة
٩٣	٢/٨ - الشغل الكهربائي
٩٥	٣/٨ - القدرة الكهربائية
٩٧	٤/٨ - الكفاءة
١٠٠	الفصل التاسع : المغنطيسية والمغنطيسية الكهربائية
١٠٠	١/٩ - الظواهر المصاحبة للمغنطيسات الطبيعية والصناعية
١٠٠	(أ) نبذة تاريخية عن المغنطيسات الطبيعية
١٠١	(ب) المغنطيسات الطبيعية
١٠٣	(ج) الاستبقاءية
١٠٤	(د) النظرية الجزيئية للمغنطيسية

٢/٩ - المجالات المغنطيسية	١٠٥
(أ) تعريف مفهوم المجال المغنطيسي	١٠٥
(ب) خطوط المجال المغنطيسي ونماذج خطوط المجال	١٠٥
٣/٩ - الظاهرة المغنطيسية الكهربائية	١٠٧
(أ) المجال المغنطيسي للموصل المستقيم الحامل للتيار الكهربائي	١٠٧
(ب) المجال المغنطيسي لملف حامل للتيار الكهربائي	١٠٨
(ج) القوى المؤثرة بين الموصلات والملفات الحاملة للتيار الكهربائي	١٠٩
(د) الموصلات والملفات الحاملة للتيار الكهربائي في مجال مغنطيسي	١١٣
٤/٩ - كميات لتحديد قيمة المجالات المغنطيسية	١١٤
(أ) الموصلية المغنطيسية - النفاذية	١١٤
(ب) المواد الدايا مغنطيسية والبارا مغنطيسية	١١٤
(ج) الحث المغنطيسي	١١٥
(د) الفيض المغنطيسي	١١٧
(هـ) شدة المجال المغنطيسي	١١٨
(و) النفاذية المطلقة للحيز الطلق	١١٩
(ز) النفاذية النسبية	١١٩
(ح) تطبيق قانون أوم على دائرة مغنطيسية	١٢٠
٥/٩ - الملفات الحاملة للتيار بقلب حديدي	١٢١
(أ) المواد المغنطيسية الحديدية	١٢١
(ب) التمغنط والتشبع	١٢١
(ج) التخلفية	١٢٣
(د) المغنطيسات الكهربائية	١٢٤
الفصل العاشر : الحث المغنطيسي الكهربائي	١٢٦
١/١٠ - اختبار فاراداي	١٢٦
٢/١٠ - أشكال الحث المغنطيسي الكهربائي	١٢٧
٣/١٠ - قواعد وقوانين الحث المغنطيسي الكهربائي	١٢٨
(أ) اتجاه التيار المنتج بالحث في الموصلات والملفات	١٢٨
(ب) الحث المغنطيسي الكهربائي من الوجهة التنشيطية	١٣٠
٤/١٠ - العلاقات بين المغنطيسية والكميات المنتجة بالحث	١٣٢

١٣٥ الحث الذاتي	٥/١٠
١٣٦ الحث المغنطيسي الكهربائي في الموصلات المفضطة	٦/١٠
١٣٩ الفصل الحادي عشر : تأثيرات المجالات الكهربائية	
١٣٩ ١/١١ - المجالات المتدفقة المتجانسة وغير المتجانسة	
١٤٠ ٢/١١ - المجالات الكهربائية في غير الموصلات	
١٤٠ (أ) تعريف المجال الكهربائي في غير الموصل	
١٤٢ (ب) تشكيلات المجالات الكهربائية	
١٤٤ ٣/١١ - كيات لتعيين المجالات الكهربائية المتجانسة	
١٤٤ (أ) الوسط الكهربائي العازل - استقطاب الوسط الكهربائي العازل	
١٤٦ (ب) كثافة الإزاحة الكهربائية	
١٤٨ (ج) معامل الوسط الكهربائي العازل	
	(د) العلاقة بين الشحنة ومقاس الألواح والشدة الكهربائية وثوابت	
١٤٩ الوسط الكهربائي العازل	
١٥٠ (هـ) المواسعات	
١٥١ (و) الحسابات المتعلقة بالمواسعات	
١٥٢ (ز) فقد العزل لمواسع	
١٥٤ ٤/١١ - ترتيب الدائرة الكهربائية للمواسعات	
١٥٤ (أ) توصيل المواسعات على التوازي	
١٥٥ (ب) توصيل المواسعات على التوالي	
١٥٧ ٥/١١ - الأنواع المختلفة للمواسعات	
١٥٩ (أ) المواسعات ذات المواسعة غير المتغيرة	
١٦٠ (ب) المواسعات ذات المواسعة المتغيرة	
١٦١ الفصل الثاني عشر : التيار المتردد	
١٦١ ١/١٢ - التيار المتردد الجيبي	
١٦١ (أ) تعريف فكرة التيار المتردد	
١٦٢ (ب) الحلقة الموصلة الدوارة في المجال المغنطيسي	
١٦٥ ٢/١٢ - كيات لتعيين التيار المتردد	
١٦٥ (أ) الموجة والدورة	
١٦٦ (ب) التردد والدورة	

١٦٧	(ج) التردد الزاوى
١٦٨	(د) طول الموجة
١٧٠	(هـ) قيم الذروة والقيم اللحظية للجهد المتردد والتيار المتردد
١٧١	(و) تعيين لقيمة اللحظية
١٧٢	(ز) القيمة الفعالة للجهد المتردد والتيار المتردد
١٧٥	٣/١٢ - المقاومات الأومية والحثية والسعوية في دائرة التيار المتردد
١٧٥	(أ) المقاومات الأومية في دائرة التيار المتردد
١٧٥	(ب) المقاومات الحثية في دائرة التيار المتردد
١٧٦	(ج) تصرف ملفات المحاثات في دائرة تيار مستمر
١٧٧	(د) تصرف ملفات المحاثات في دائرة تيار متردد
١٨١	(هـ) المفاعلات السعوية في دائرة التيار المتردد
١٨٣	(و) التطبيق العام لقانون أوم على دائرة تيار متردد
١٨٥	٤/١٢ - الشغل الكهربائى والقدرة الكهربائية للتيار المتردد
١٨٨	٥/١٢ - التيار المتردد الثلاثى الأطوار
١٨٨	(أ) تمثيل التيار المتردد الثلاثى الأطوار
١٩٠	(ب) الترابط المتبادل بين الأطوار في توصيلات النجمة والدلتا
١٩٥	(ج) القدرة في دائرة تيار متردد ثلاثى الأطوار
١٩٦	(د) المجال الدوار

القسم الثانى : تمهيد لقياسات الكميات الكهربائية

٢٠٠	الفصل الأول : الاختبار القياسى
٢٠١	الفصل الثانى : معدات الاختبار البسيطة وتطبيقاتها
٢٠١	١/١٢ - إختبار الجهد بواسطة معين القطب ومبين الجهد
٢٠١	(أ) الاختبار بواسطة معين القطب
٢٠٢	(ب) الاختبار بواسطة معين الجهد
٢٠٢	٢/٢ - اختبار الاستمرارية بواسطة معدات اختبار بسيطة
٢٠٤	الفصل الثالث : تصنيفات وتصميمات وتطبيقات أجهزة القياس الكهربائية
٢٠٤	١/٣ - الكميات المراد قياسها - أجهزة القياس
٢٠٥	٢/٣ - تصميم ودقة قياسات أجهزة القياس
٢٠٧	(أ) دقة القياس

صفحة

٢٠٨	٣/٣ - آليات الحركة لقياس الجهد وشدة التيار
٢٠٨	(أ) ملاحظات عامة على شكل آلية الحركة لأجهزة لقياس
٢٠٨	(ب) أجهزة القياس بحديدة متحركة
٢١٠	(ج) أجهزة القياس بملف متحرك
٢١١	(د) أجهزة القياس بسلك ساخن
٢١٢	(هـ) أجهزة القياس الإستاتيكية الكهربائية
٢١٤	٤/٣ - آليات الحركة لقياس المقاومة
٢١٥	(أ) جهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة
٢١٥	(ب) قنطرة القياس
٢١٨	٥/٣ - آليات الحركة لقياس الترددات
٢١٨	(أ) جهاز اقياس بالريشة
٢١٩	(ب) تطبيقات جهاز قياس التردد بالريشة
٢١٩	٦/٣ - آليات الحركة لقياسات القدرة
٢١٩	(أ) آلية الحركة الديناميكية الكهربائية
٢٢٠	٧/٣ - التقييم على أجهزة القياس
٢٢١	٨/٣ - إطالة مدى القياس
٢٢٢	(أ) متطلبات القدرة وعامل الجودة لآليات الحركة
٢٢٣	(ب) إطالة مدى القياس للفلطيمترات
٢٢٤	(ج) إطالة مدى القياس للأميتيرات
٢٢٦	(د) جهاز القياس متعدد الأغراض للجهود وشدة التيارات
٢٢٨	٩/٣ - وصف لبضع دوائر قياس
٢٢٨	(أ) دوائر قياس للتأكد من قيم المقاومات بواسطة قياسات التيار والجهد
٢٣٠	(ب) دائرة قياس لقياسات القدرة
٢٣٣	(ج) دائرة قياس لقياس الشغل الذى يبذله التيار

القسم الأول
الأساسيات الفنية الفيزيائية

الفصل الأول

تأثيرات التيار الكهربائي

يصحب التيار الكهربائي عدة تأثيرات ملحوظة (ظواهر) ويمكن تمييزها بما يلي :

١/١ - تأثير حراري .

٢/١ - تأثير ضوئي .

٣/١ - تأثير مغنطيسي

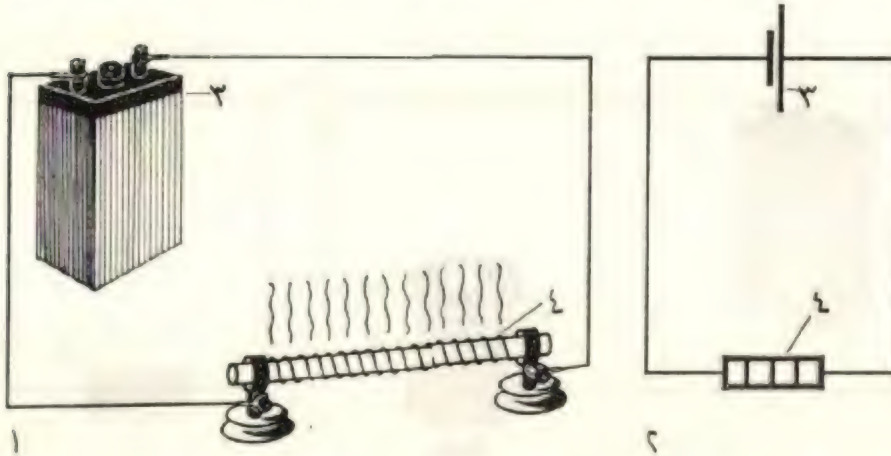
٤/١ - تأثير كيميائي .

٥/١ - تأثير فسيولوجي .

ويستخدم الفزيائيون هذا التأثير الأخير لأغراض العلاج الطبي الكهربائي المتعدد الوجوه . وعند التعامل بالتيار الكهربائي ، تلاحظ تدابير أمان واشراطات متعددة ، تراعى عند البحث عن دواء باستخدام التأثير الفسيولوجي للتيار الكهربائي .

١/١ - التأثير الحراري للتيار الكهربائي :

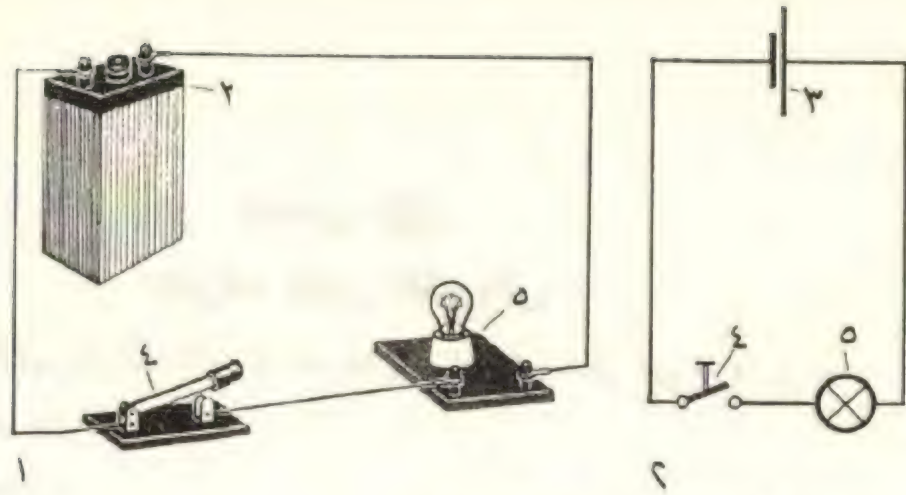
يوضح الشكل (١) التأثير الحراري للتيار الكهربائي على موصل يسرى فيه هذا التيار . يسخن التيار الكهربائي ذو الشدة الكافية هذا الموصل ، فيشع حرارة للأوساط المحيطة به . وتستخدم أسلاك تسخين من مادة مقاومة ، (وسيناقش هذا بمزيد من التفصيل في الفصل السادس) ، إذا استخدمت الحرارة الناتجة عن التيار الكهربائي في الأغراض الصناعية والأجهزة المنزلية وغيرها .



شكل ١ : التأثير الحراري للتيار الكهربائي .

١ - تمثيل تخطيطي للتأثير الحراري . ٣ - مصدر للجهد (تستخدم بطارية في هذه الحالة) .

٢ - رسم الدائرة لترتيبة الاختبار . ٤ - مسخن كهربائي .



شكل ٢ : التأثير الضوئي للتيار الكهربائي .

١ - تمثيل تخطيطي للتيار الكهربائي .

٢ - رسم الدائرة لترتيبة الاختبار .

٣ - مصدر للجهد .

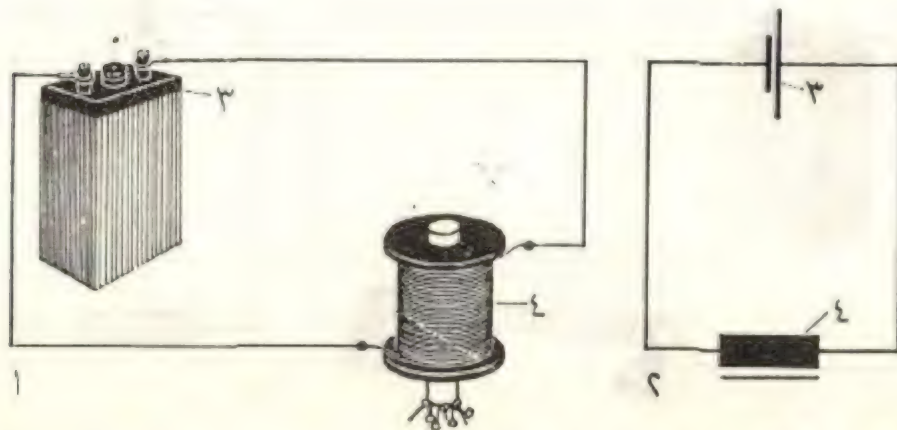
٤ - مفتاح كهربائي .

٥ - مصباح كهربائي .

٢/١ - التأثير الضوئي للتيار الكهربائي :

يبين الشكل (٢) التأثير الضوئي للتيار الكهربائي . يؤدي مرور التيار الكهربائي ذي الشدة الكافية ، خلال فتيل التسخين لمصباح كهربائي ، إلى تسخين هذا الفتيل لدرجة التوهج ، فيشع ضوء أبيض .

ويوضح المثال السابق هذا النوع من التأثير الضوئي للتيار الكهربائي ، الذي ينتج بواسطة المرحلة المتوسطة للتأثير الحراري للتيار الكهربائي .



شكل ٣ : التأثير المغنطيسي للتيار الكهربائي .

١ - تمثيل تخطيطي للتأثير المغنطيسي .

٢ - رسم الدائرة لترتيبة الاختبار .

٣ - مصدر للجهد .

٤ - مغنطيس الرفع الكهربائي .

وينتج تأثير ضوئي آخر في مصابيح التفريغ (مصابيح تفريغ هوائية ، مصابيح أو أنابيب فلورية) ، وسوف يرد شرح هذا الموضوع في الجزء الثاني بالفصل الرابع .

٣/١ - التأثير المغنطيسي للتيار الكهربائي :

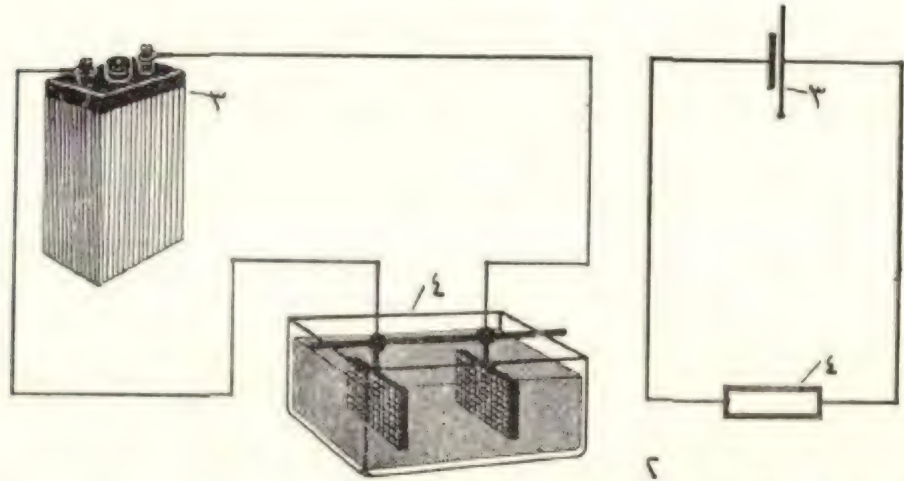
يبين الشكل (٣) التأثير المغنطيسي للتيار الكهربائي ، فينتج عن مرور التيار الكهربائي ذي الشدة الكافية ، عبر موصل ، مجال مغنطيسي حول هذا الموصل . في الشكل (٣) يكون الموصل على هيئة ملف يتكون من عدة لفات . ولزيادة شدة التأثير المغنطيسي ، يولج قلب حديدي داخل الملف . وعلى سبيل المثال لا الحصر ، يكون مغنطيس لرفع الكهربائي ، عبارة عن تصميم لمثل هذا الملف يستخدم تجاريا .

٤/١ - التأثير الكيميائي للتيار الكهربائي :

يبين الشكل (٤) التأثير الكيميائي للتيار الكهربائي . فيعرض مرور التيار الكهربائي ذي الشدة الكافية عبر السائل الموصل الكهربائي (ماء مستحضر) ، إلى تغييرات جوهريّة . وعلى سبيل المثال ، يمكن تحليل الماء إلى مكوناته (هيدروجين وأكسجين) ، وذلك بمرار التيار الكهربائي .

٥/١ - التأثيرات التنشيطية للتيار الكهربائي :

للتيار الكهربائي قدرة على التشغيل ، وتسمى هذه القدرة « الطاقة » ويطلق عليها كذلك « الطاقة الكهربائية » نسبة إلى التيار الكهربائي . ويمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة : طاقة حرارية أو طاقة ضوئية أو طاقة كيميائية ، علاوة على إمكان تحويلها إلى طاقة ميكانيكية .



شكل ٤ : التأثير الكيميائي للتيار الكهربائي .

- ١ - تمثيل تخطيطي للتأثير الكيميائي .
- ٢ - رسم الدائرة لتربية الاختبار .
- ٣ - مصدر للجهد .
- ٤ - حوض إلكتروليتي .

ويمكن بواسطة الطاقة الكهربائية مثلا ، إحداث عزم لى على عمود إدارة محرك كهربائى مستخدم فى إدارة مكينات التشغيل الصناعية ، ويتضح من ذلك تأثيرات التيار الكهربائى فى تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة . وتؤدى تحويلات الطاقة دورا هاما فى جميع المجالات الهندسية والتكنولوجية . وتظهر البحوث التى تنتج عنها فى قانون بقاء الطاقة ، أنه فى مضمار تحويل الطاقة : تبقى الطاقة الإجمالية ثابتة ، فبينما تحتوى الطاقة من أحد أشكالها ، تظهر فى شكل آخر : وبمعنى آخر « فإن الطاقة لا تستحدث ولا تفنى » .

الفصل الثانى

ما هى الكهرباء

حاول الإنسان كثيرا أن يستكشف هذا الكون الذى يعيش فيه . ولقد بذل مجهودات كثيرة ، وسوف يستمر فى بذل هذه المجهودات للدراسة والوصول إلى معنى الظواهر فى العالم المحيط به . وعليه ، بحث الإنسان فى طبيعة الكهرباء وأصبح يدرك تمام الإدراك مفهوم التيار الكهربائى كجواهر كهربائى ، حتى أصبح هذا المعنى معروفا وواضحا له بدرجة كبيرة . وباستخدام النماذج كطرق عملية ، أمكن معرفة كل ما يتعلق بالكهرباء ، وعلى الأخص عند تفسير الظواهر التى تنفصها المشاهدات المباشرة .

ونبدأ هنا بالحقيقة التالية : تعتمد جميع الظواهر الكهربائية على جزيئات متناهية فى الصغر تحمل أصغر كميات من الشحنات الكهربائية أو الكهرباء، ويطلق على هذه الجزيئات المتناهية فى الصغر « إلكترونات » .

ولتفسير ما هو « الإلكترون » يجب الإلمام التام بالمعرفة التى أدت إلى وضع « النظرية الذرية المتكاملة » . فثلا ، عند تحليل أى مادة فى المعمل نحصل على مواد لا يمكن الحصول بعد ذلك على غيرها ، وتسمى « العناصر » .

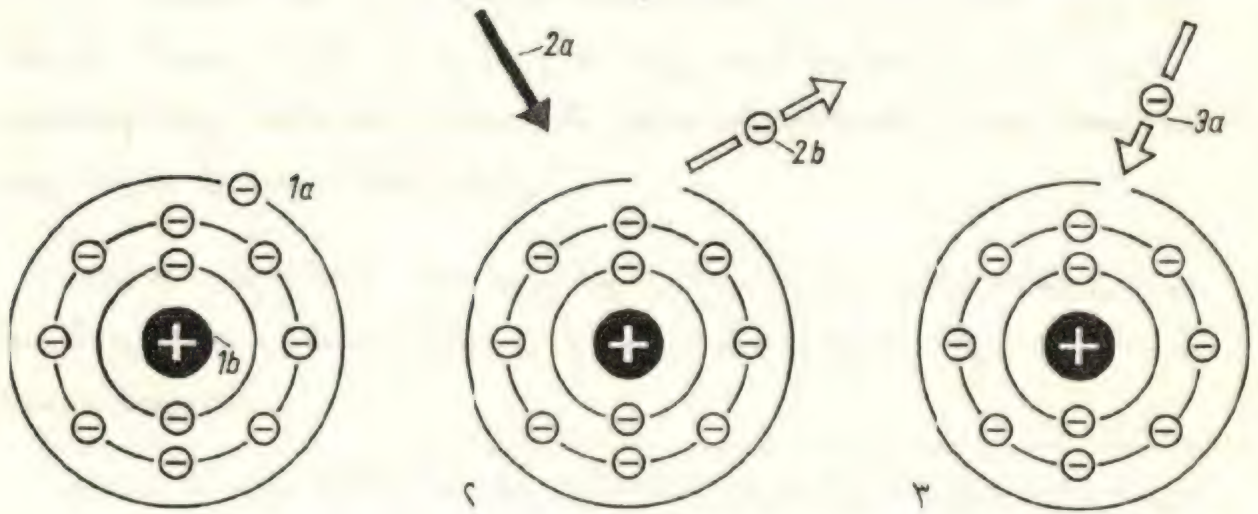
وبالمقارنة مع العدد الكبير من المواد والمركبات التى وجدت فى الطبيعة ، فإن عدد العناصر التى تم تعيينها ما زال صغيرا ، حيث أصبح حوالى المائة فقط .

ويتكون كل عنصر من عدة جزيئات من نفس النوع ، يطلق عليها « ذرات » . ويسمى أصغر جزء من العنصر له نفس خواص العنصر ، (مثل الرائحة والقوة والموصلية الكهربائية والموصلية الحرارية) « الذرة » . وعلى هذا فإن أصغر جزء من قطعة من عنصر النحاس هى « ذرة النحاس » . وكان يقصد بالذرة سابقا ، الشئ غير القابل للانقسام . هذه فكرة قديمة حيث كان يعتقد من قبل أن الذرة لا يمكن تقسيمها (لا انشطارية) . غير أنه أمكن شطر الذرة ، وقد بنى إنتاج الطاقة النووية على شطر هذه الذرات .

ويبين الشكل (٥ - ١) نموذجا لذرة . ويساعد هذا النموذج الأساسى فى تفسير ظواهر طبيعية كثيرة : الكهربائية منها ، وغير الكهربائية .

وتتكون الذرة من « نواة ذرية » وإلكترونات أو أكثر ، يدور حول النواة في ممرات يطلق عليها « مدارات » . وهذا يعنى أن الإلكترونات تدور على مسافات معينة من هذه النواة .

وتشبه الذرة في تكوينها المجموعة الشمسية . ويمكن اعتبار النواة الذرية كأنها الشمس ، والإلكترونات التي تدور حول النواة كأنها الكواكب السيارة في المجموعة الشمسية . وبنفس الطريقة ، فكما توجد قوى بين الكواكب والشمس تجعل المجموعة الشمسية في حالة استقرار ، توجد كذلك قوى بين النواة الذرية والإلكترونات ، تجعل الذرة في حالة استقرار .



شكل ٥ : ذرة متعادلة ، انفصال الشحنات وتوازنها .

- ١ - ذرة صوديوم متعادلة .
- ٢ - a - التأثير على الذرة .
- ٣ - a - إلكترون بشحنة سالبة .
- ١ - b - إزاحة الإلكترون عن المدار الخارجى .
- ٢ - b - نواة ذرية بشحنة موجبة .
- ٣ - توازن الشحنات .
- ١ - انفصال الشحنات .
- ٢ - إلكترون في نطاق قوى التجاذب الكهربية .

تظهر الذرة كأنها في حالة تعادل إذا لم تتعرض لمؤثر خارجى بأى وسيلة ، بمعنى أن أصغر كيات من الشحنات الكهربائية التي تحملها الإلكترونات المحيطة بالنواة ، تعادل في مجموعها الشحنة المضادة التي تحملها النواة الذرية . وتوجد بين هذه الشحنات الكهربائية ذات الخاصية المضادة ، قوى تجاذب تجعل الذرة في حالة تعادل . وللتمييز بين هذين النوعين من الشحنات الكهربائية أو كيات الكهرباء ، تعلم الشحنات التي تحملها الإلكترونات بالعلامة السالبة (-) ، وبمعنى آخر يطلق على الإلكترونات أنها سالبة كهربائياً . وتعلم شحنات النواة الذرية بالعلامة الموجبة (+) ، وبمعنى آخر يطلق على النواة الذرية أنها موجبة كهربائياً .

إذا تعرضت ذرة (أو عدة ذرات) لمؤثرات خارجية (لفعل ميكانيكى أو كيميائى ، مثلا) ، فإن شرط التعادل فى الذرة يتغير ، وكنتيجة لذلك ، تتحرك الإلكترونات ذات الشحنة السالبة . وإذا مرت هذه الإلكترونات عبر نظام مناسب ، يمكن ملاحظة تأثيرات التيار الكهربائى السابق وضعها .

ويطلق على الفعل الواقع على ذرة بالمفهوم المبين أعلاه « انفصال الشحنة » . ويحدث انفصال الشحنة هذا فى مصدر كهربائى (مركم - دينامو - مولد) .

ويحدث خلل فى توازن قوى التجاذب الكهربائية فى الذرة أثناء انفصال الشحنات . ويطلق على العملية العكسية لانفصال الشحنات « توازن الشحنات » .

وعندما يقترب أن إلكترون بشكل كاف من ذرة فى حالة تخلخل نتيجة لانفصال الشحنة ، تحدث قوى التجاذب الكهربائية تأثيرا يجعل هذا الإلكترون يتحرك فى مدار معين حول النواة ، حتى تبدو الذرة كأنها فى حالة توازن . ويبين الشكل (هـ) توضيحا لهذه التفسيرات بواسطة نموذج لذرة فلز الصوديوم .

الفصل الثالث

الشحنات الكهربائية

١/٣ - الشحنات الكهربائية الثابتة :

يميز عادة بين الشحنات الكهربائية الثابتة والشحنات الكهربائية المتحركة . والشحنات الكهربائية الثابتة وخواصها ، هي موضوع دراسة الكهرباء الاستاتيكية . وقد أصبح اليوم هذا الفرع من الدراسة أقل أهمية من ذلك الخاص بدراسة الشحنات المتحركة . وعلى كل ، فإن مناقشة الظواهر الأساسية للكهرباء الاستاتيكية ، إلى جانب بضع ملاحظات تتعلق بتاريخ هذا الفرع من الدراسة ، سيساعد على تفهم جوهر الهندسة الكهربائية .

(١) نبذة تاريخية عن ظواهر الشحنات الكهربائية :

لاحظ تيلز (Thales) ، الفيلسوف وعالم الرياضيات اليوناني ، منذ حوالي ٢٥٠٠ عام أنه عند ذلك قطعة من الكهرمان بقطعة من الصوف ، نجد أن قطعة الكهرمان تجذب قطع الورق الصغيرة ، وذلك يعنى أن الكهرمان الذى أطلق عليه اليونان اسم الكهرباء (elektron) يمكن شحنه كهربائياً . ومع ذلك فقد مضى على هذه الظاهرة حوالي ٢٠٠٠ عام دون أن تلقى أى اهتمام . ومن حوالي ١٦٠٠ عام أجرى عالم الطبيعيات الإنجليزي جلبرت (Gilbert) أبحاثاً في الظواهر الأساسية للقوى الكهربائية التى يطلق عليها باللاتينية (Vis electrica) . وقد حاول جلبرت ضمن أعماله الأخرى البحث عن المواد التى يمكن شحنها كهربائياً ، حتى توصل إلى النتيجة التالية : « يعتبر الزجاج وشمع الختم والكبريت من المواد القابلة للتكهرب ، على حين تعتبر المعادن غير قابلة للتكهرب » .

وبعد ذلك بحوالى ١٢٥ عام أثبت جراى (Gray) ، زميل جلبرت فى الوطن ، أن ما ذكره جلبرت عن عدم قابلية المعادن للتكهرب غير صحيح . وفى ألمانيا بمدينة جوريك عاصمة مجد برج ابتكر أوتر (Otto) جهازاً استاتيكياً كهربائياً استخدم فيه كرة من الكبريت تدلك باليد .

وقد تم التعرف على أول نص يقارن بين الإضاءة والشرارة الكهربائية ، كتبه وال (Wall) فى عام ١٧٠٨ . وفى منتصف القرن الثامن عشر تقريباً شرح العالم الفرنسى دوفى (Dufay) التصرف المختلف للمواد المتباينة بالنسبة لشحناتها الكهربائية . واستخدم بعد ذلك المصطلحان موجب (+) وسالب (-) كهربائياً . وأجريت تجارب فيزيقية كهربائية فى مدينة ليدن (Lyden)

بهولندا ، نتج عنها اختراع المواسع (المكثف الكهربائي) . وكان أول مواسع نتيجة لتطوير زجاجة دواء ، وسمى « زجاجة ليدن » .

ويقال ان بنيامين فرانكلين الأمريكي بنى أول مانعة صواعق في عام ١٧٥٢ .

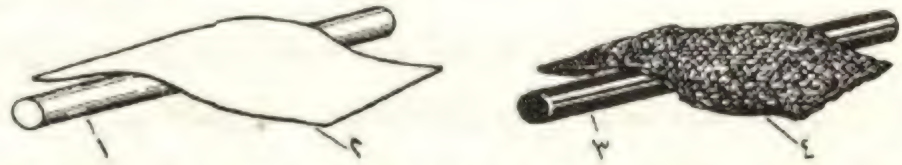
وكانت أعمال كولوم (Coulomb) رائدة في مجال الشحنات الكهربائية . ولقد بدأ اختباراته في حوالي عام ١٧٨٥ باستخدام ميزان التواء ، يعرف أيضاً باسم « ميزان كولوم » . وبعد نجاح كولوم في قياس القوى المصاحبة للشحنات الكهربائية ، أعلن عن قانونه الخاص بانتشار الشحنات الكهربائية .

وبعد ذلك ، أجرى فاراداي (Faraday) العالم الشهير ، أبحاثاً لمعرفة كيفية توزيع الشحنات الكهربائية على الأجسام .

(ب) تمثيل الشحنات الكهربائية :

التمثيل باستخدام قضيب من الزجاج وقضيب المطاط الصلب :

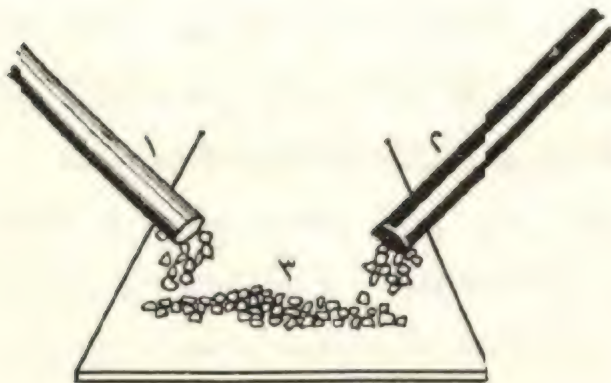
عند ذلك قضيب من الزجاج بقطعة من الجلد ، أو قضيب من المطاط الصلب بخرقة من الصوف ، كما في الشكل (٦) فإن هذين القضيبين يجذبان قصاصات الورق الصغيرة كما في الشكل (٧) .



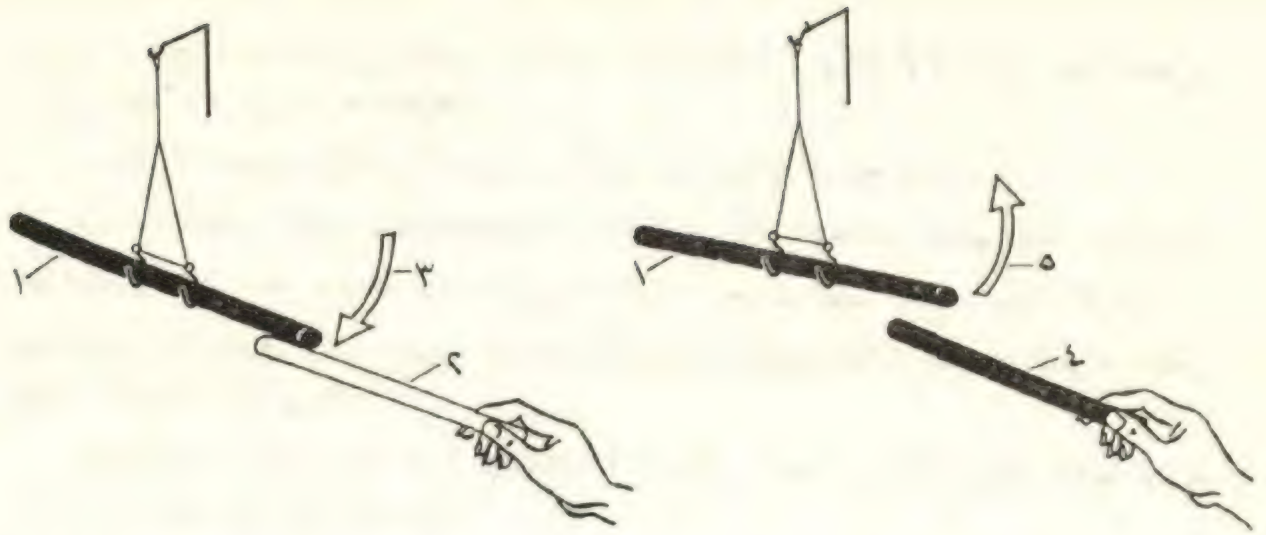
شكل ٦ : قضيب من الزجاج وآخر من المطاط الصلب معدان لانفصال الشحنة .
١ - قضيب من الزجاج .
٢ - قطعة من الزجاج .
٣ - قضيب من المطاط الصلب .
٤ - خرقة من صوف .

يتضح أن الفعل الميكانيكي (ذلك) قد سبب انعدام التعداد الكهربائي ، وكما هو واضح أيضاً فقد حدثت قوى تجاذب لقصاصات الورق .

وقد أطلق قديماً على ظاهرة الشحنات الكهربائية الناتجة بهذه الطريقة مصطلح « كهربائية الاحتكاك » ، واليوم أصبح معروفاً أن التلامس الجيد لقضيب من الزجاج مع الجلد يكفي للحصول على فعل القوة الكهربائية ، كما هو مبين في الشكل (٧) . وعلى ذلك تكون التسمية « كهربائية التلامس » . أكثر دقة من تسمية « كهربائية الاحتكاك » .



شكل ٧ : القوى الناتجة عن ذلك قضيبين أحدهما من الزجاج والآخر من المطاط الصلب .
١ - قضيب زجاج .
٢ - قضيب مطاط صلد .
٣ - قطع صغيرة من الورق .



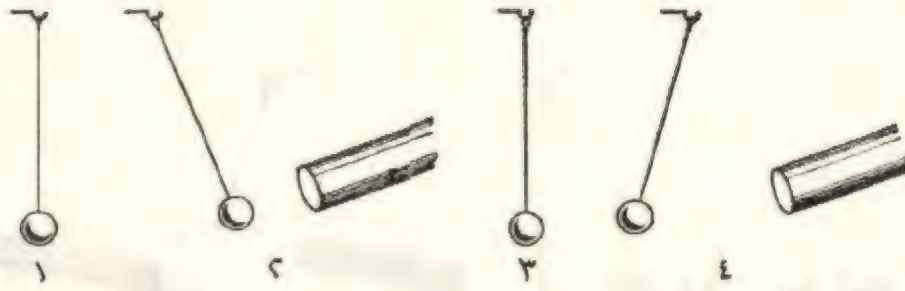
شكل ٨ : يوضح الشكل تصرف قضيبين مدلو كين أحدهما من الزجاج والآخر من المطاط الصلد تجاه كل منهما للآخر .

- ١ - قضيب من المطاط الصلد معلق حر الحركة .
- ٢ - قضيب زجاج .
- ٣ - تجاذب (قوة - فعل) .
- ٤ - قضيب مطاط صلد .
- ٥ - تنافر (قوة - فعل) .

بعد أن وصفنا فعل قضبان الزجاج والمطاط الصلد المدلوك على قصاصات الورق ، تبين هنا فعل كل منهما على الآخر . ويبين الشكل (٨) ترقية لقضيب من المطاط الصلد المدلوك ، معلق بحيث يكون حر الدوران . وإذا ذلك قضيب من الزجاج وقرب من قضيب المطاط ، نجد أن الأخير يدور تجاه قضيب الزجاج ، وهذا يعني أنه انجذب له . وعند تقريب قضيب آخر من المطاط الصلد المدلوك إلى قضيب المطاط المعلق ، نجد أن القضيب المعلق يدور بعيداً عن القضيب الآخر ، وهذا يعني أنه تنافر بعيداً عنه .

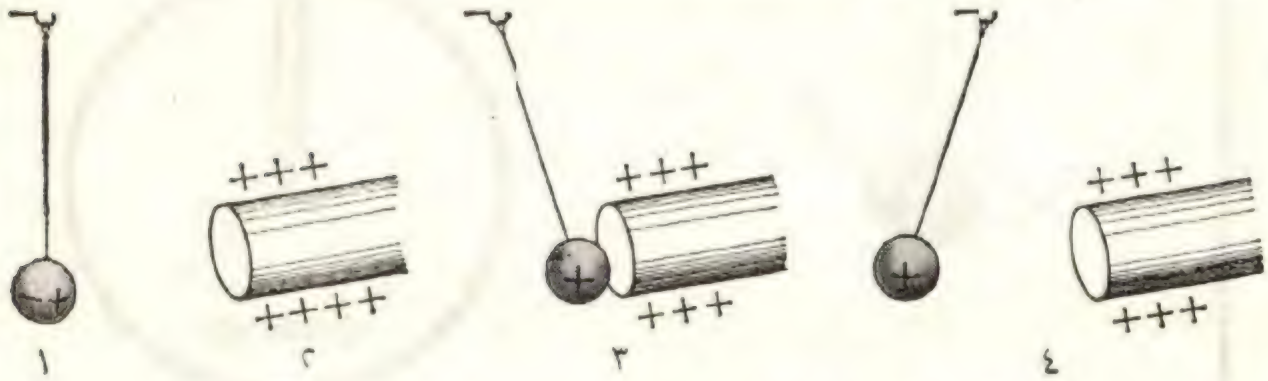
ونستخلص من مناقشاتنا السابقة لكهربائية التلامس وجود نوعين من الشحنات لهما تأثيران ديناميكيان ، أحدهما تجاذبي والآخر تنافري . وبالتالي أمكن الوصول إلى الآتي : « يحمل قضيب الزجاج المدلوك شحنات موجبة (+) ، بينما يحمل القضيب المدلوك من المطاط الصلد شحنات سالبة (-) » وبهذا التصنيف أمكن صياغة قانون أستاكي كهربائي لفعل القوة كما يلي :
تجاذب الأجسام التي تحمل شحنات كهربائية معكوسة الإشارة ، بينما تتنافر الأجسام التي تحمل شحنات كهربائية لها نفس الإشارة .

تمثيل التأثيرات الديناميكية (أفعال القوة) ، الشحنات وتعادل الشحنة :
ستفسر هنا التأثيرات الديناميكية لكهربائية التلامس بالإستعانة بالرسومات التوضيحية التالية ، والمبينة على نماذج تستخدم لتفهم جوهر الكهرباء . ويبين الشكل (٩) كرة من نخاع اللسان (نوع من النباتات) ، معلقة بحيث تكون حرة الحركة . ويقرب من الكرة قضيب مدلوك من الزجاج ، وكما هو متوقع من الوصف السابق ، نجد أن الكرة تتحرك في اتجاه قضيب الزجاج .

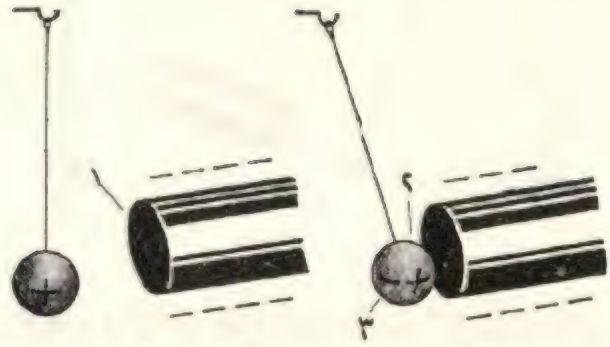


شكل ٩ : يبين الشكل تصرف قضيب مدلولك من الزجاج وكرة من نخاع البلسان تجاه كل منهما الآخر .
 ١ - كرة من نخاع البلسان معلقة حرة الحركة . ٣ - الرجوع إلى الوضع الأصلي .
 ٢ - التجاذب لقضيب الزجاج . ٤ - عند تقريب قضيب الزجاج مرة ثانية ، تتنافر الكرة معه .

وعند إبعاد قضيب الزجاج عن كرة نخاع البلسان ، نجد أن الأخيرة تعود إلى وضعها الأصلي بمجرد إبعاد القضيب عنها بمسافة معينة . وبإعادة تقريب القضيب الزجاج مرة ثانية إلى الكرة ، تباعد عنه ، ويعنى هذا حدوث قوى تنافرية .
 وتفسر هذه الظاهرة بمساعدة الشحنات المختلفة كما هو مبين بالشكل (١٠) .
 عند تقريب قضيب مدلولك من المطاط الصلد لكرة من نخاع البلسان تحمل شحنة موجبة كهربائياً ، نلاحظ حدوث الظاهرة الموضحة في الشكل (١١) .



شكل ١٠ : شرح الظاهرة الموضحة في الشكل (٩) .
 ١ - كرة من نخاع البلسان متعادلة كهربائياً (الشحنات الموجبة والشحنات السالبة متساوية) .
 ٢ - قضيب زجاج يحمل شحنة موجبة .
 ٣ - عند التجاذب ، يحدث تعادل للشحنة (تحمل كرة البلسان شحنة موجبة ، بينما تخفّض الشحنة الموجبة التي يحملها قضيب الزجاج) .
 ٤ - عند إعادة تقريب قضيب الزجاج مرة ثانية تتنافر كرة البلسان طبقاً لقانون فعل القوة المغناطيسية .



شكل ١١ : يبين الشكل مسلك كرة من نخاع
اللسان تحمل شحنة موجبة وقضيب مدلولك من
المطاط الصلد ، كل منهما تجاه الآخر .

٢ - يحدث تعادل للشحنة أثناء تجاذب كرة
اللسان وقضيب المطاط .

٣ - تصبح كرة نخاع اللسان متعادلة كهربائياً .

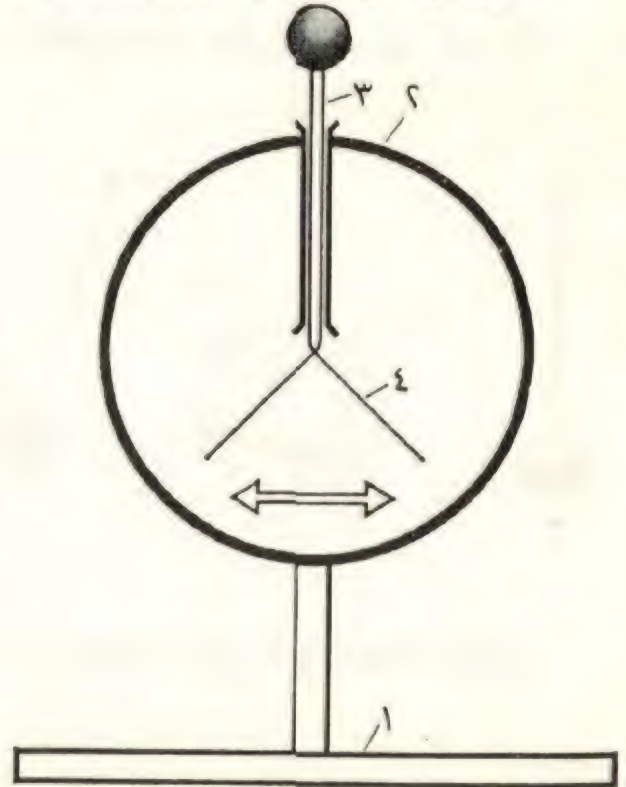
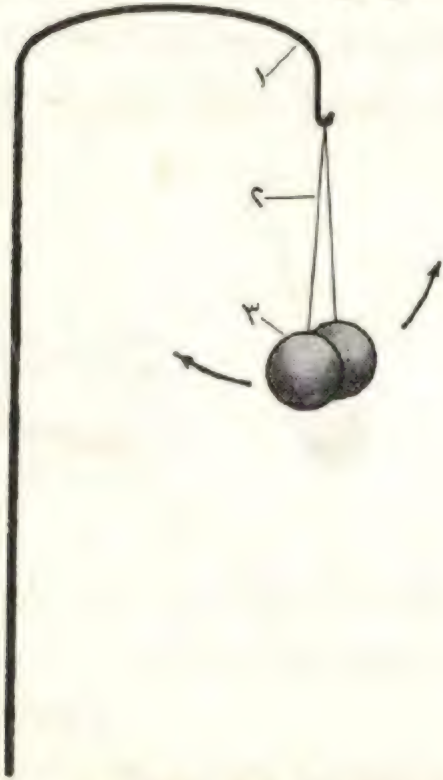
١ - يقرب قضيب من المطاط الصلد
يحمل شحنة سالبة إلى كرة من نخاع اللسان
تعمل شحنة كهربائية موجبة .

(ج) أجهزة لبيان الشحنة الكهربائية وقياسها :

سنشرح، هنا أهم الأجهزة المستخدمة في أغراض الكهرباء الاستاتيكية ، وذلك قبل مناقشة عدة
خصائص للشحنة الكهربائية .

البندول الكهربائي :

يتكون من كرة من نخاع اللسان معلقة بخيط مثبت في حامل من مادة عازلة ، أي من مادة

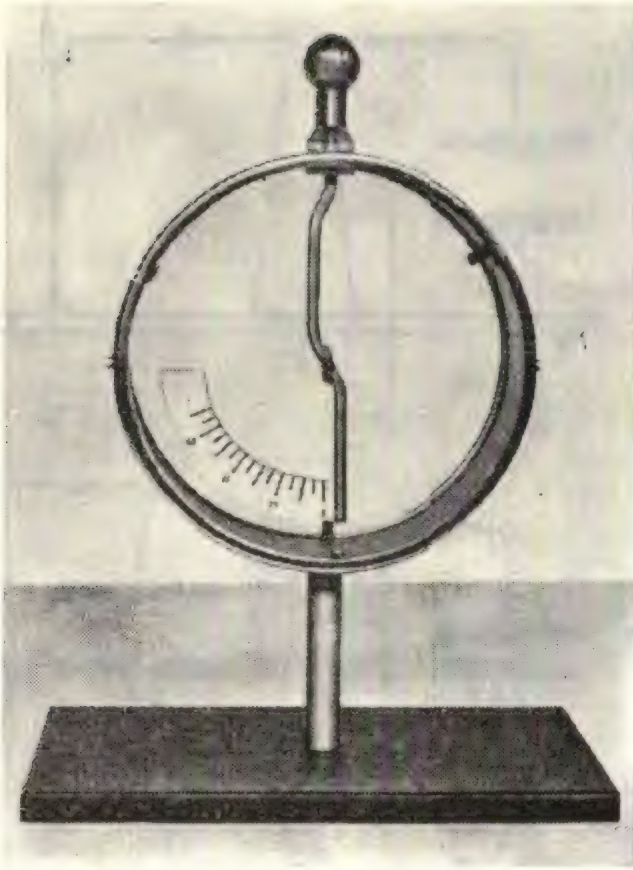


شكل ١٣ : مكشاف وولف الكهربائي :

- ١ - حامل .
- ٢ - اسطوانة معدنية .
- ٣ - أنبوبة عازلة وقضيب معدني .
- ٤ - مؤشر .

شكل ١٢ : البندول الكهربائي :

- ١ - حامل .
- ٢ - خيط .
- ٣ - كرة من نخاع اللسان .



شكل ١٤ :

جهاز براون لقياس فرق الجهد الكهربائي .

غير حساسة للشحنات الكهربائية . في الشكل (١٢) ، تأرجح كرة البلسان بفعل الشحنات الكهربائية .

مكشاف وولف الكهربائي : (إليكتروسكوب وولف) :

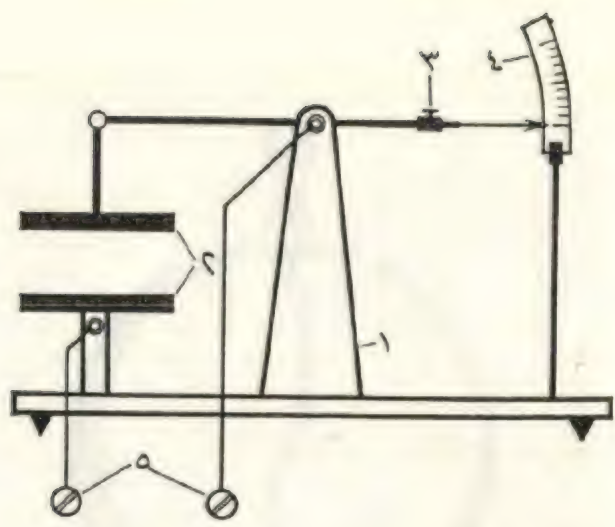
يتكون المكشاف من أسطوانة معدنية مركبة على حامل معزول ، ويثبت داخل الأسطوانة قضيب معدني ، بطريقة بحيث يكون معزولاً عنها . وتشكل نهاية القضيب على هيئة مؤشرين من رقائق الألومنيوم أو ورق الذهب ، كما في الشكل (١٣) ، ويبتعد المؤشران عن بعضهما البعض أثناء شحن المكشاف كهربائياً ، نتيجة للتنافر المتبادل بينهما .

جهاز براون لقياس فرق الجهد :

هذا الجهاز تصميم محسن للمكشاف الكهربائي ، وبه مؤشر واحد بدلاً من المؤشرين ، ويرتكز هذا المؤشر على محور ارتكاز بحيث يكون حر الدوران حوله ، كما في الشكل (١٤) . وينحرف المؤشر أثناء شحن المكشاف كهربائياً . ويبين وضعه على تدريج قيمة جهد معين (فعل القوة الكهربائية) . ويستخدم هذا الجهاز في بيان الجهود ذات القيم العالية .

جهاز قياس فرق الجهد المطلق :

يتكون هذا الجهاز من لوحين من المعدن موضوعين بعكس بعضهما البعض ، على مسافة معينة . يثبت أحد اللوحين في هيكل الجهاز تثبيتاً محكماً بينما يترك الآخر بحيث يكون حر الحركة . ولرافعة الجهاز التي تحمل اللوح المتحرك نهاية على شكل مؤشر موضوع على تدريج . يتعرض



شكل ١٥ :

جهاز قياس فرق الجهد المطلق .

١ - هيك .

٢ - لوحان معدنيان .

٣ - ثقل اتزان .

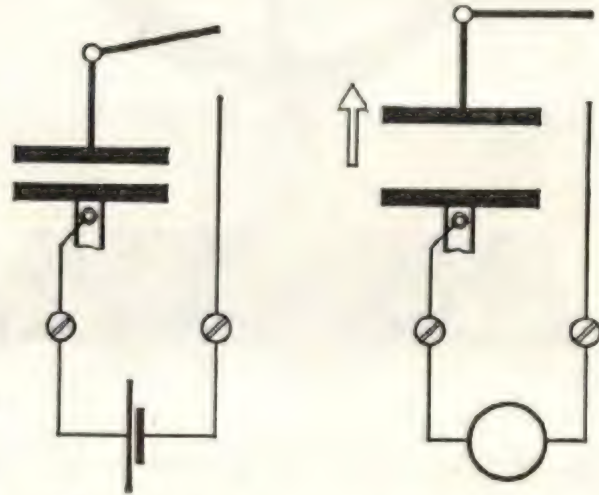
٤ - تدريج .

٥ - طرفي نهاية .

٦ - يتقارب اللوحان عند تسليط جهد .

٧ - يحدث تفريغ للشحنة ويعود اللوحان المعدنيان

لوضعهما الأصل عند توصيل جهاز قياس .



اللوحان لتجاذب متبادل عند تسليط شحنة كهربائية على طرفي الجهاز (بتوصيل بطارية مثلاً ، بطرفي الجهاز) . فإذا وصل بعد ذلك فلطمتر مناسب لهذا الغرض بالجهاز ، يحدث توازن للشحنات ويعود اللوحان المعدنيان إلى وضعهما الأصل ، الشكل (١٥) . وتناسب مثل هذه الأجهزة المطلقة بصفة خاصة القياسات الدقيقة (قياسات المقارنة وأعمال المعايرة) .

(د) خواص الشحنات الكهربائية :

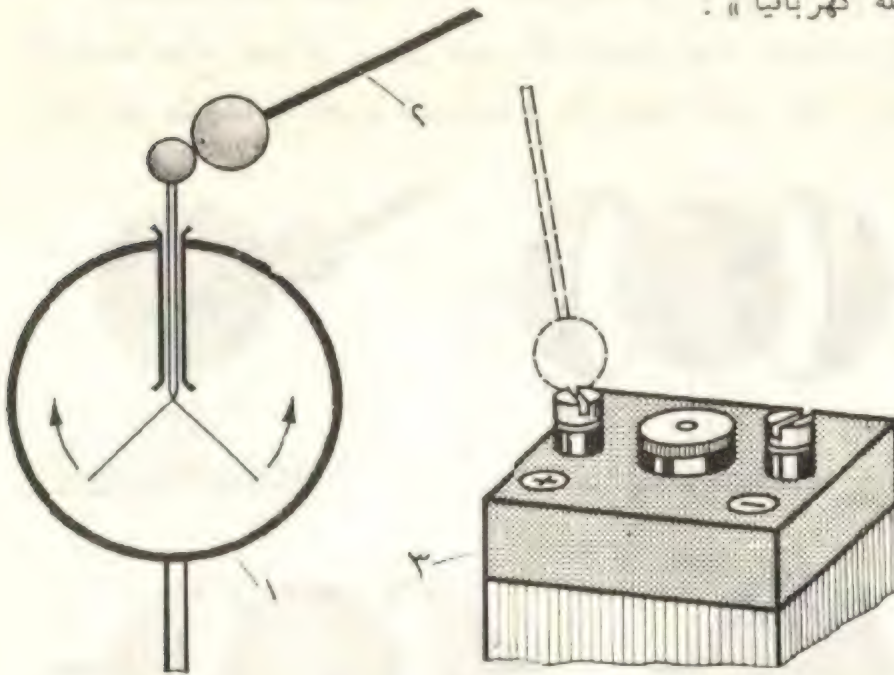
المنقولية والتجزئية :

يوضح الشكل (١٠) والشكل (١١) حقيقة قابلية الشحنات الكهربائية للانتقال (المنقولية) ، ولها خاصية أخرى وهي قابليتها للتجزئة (التجزئية) . ويوضح الشكل (١٦) ترتيباً تساعد على إعطاء البرهان الكافي لإثبات التجزئية للشحنات الكهربائية . فيوصل مستوى اختبار كهربائي ، مكون من مقبض معزول في نهايته كرة معدنية ، وذلك بالقطب الموجب لبطارية . ثم يوصل بعد ذلك بمكشاف كهربائي (إلكتروسكوب) . ونتيجة لذلك تنفرج رقيقتي المكشاف معطية انحرافاً ملحوظاً . ويزداد هذا الانحراف بتكرار هذه العملية .

ويمكن إجراء عكس هذه العملية بعد ذلك . فعندما ننقل الشحنة الكهربائية بواسطة مستوى الاختبار الكهربائي من المكشاف إلى القطب السالب للبطارية ، نلاحظ تضاعف انحراف رقيقتي المكشاف شيئاً فشيئاً حتى تتلاشى الشحنة منه (الشكل ١٧) .

التلاصق السطحي :

لقد أجريت عدة أبحاث لمعرفة كيفية اختراق الشحنات الكهربائية للأجسام . وهل يحدث هذا الاختراق كلياً أو جزئياً . وتم التوصل إلى النتيجة التالية : تستقر الشحنات الكهربائية دائماً على أسطح المواد الموصلة كهربائياً .



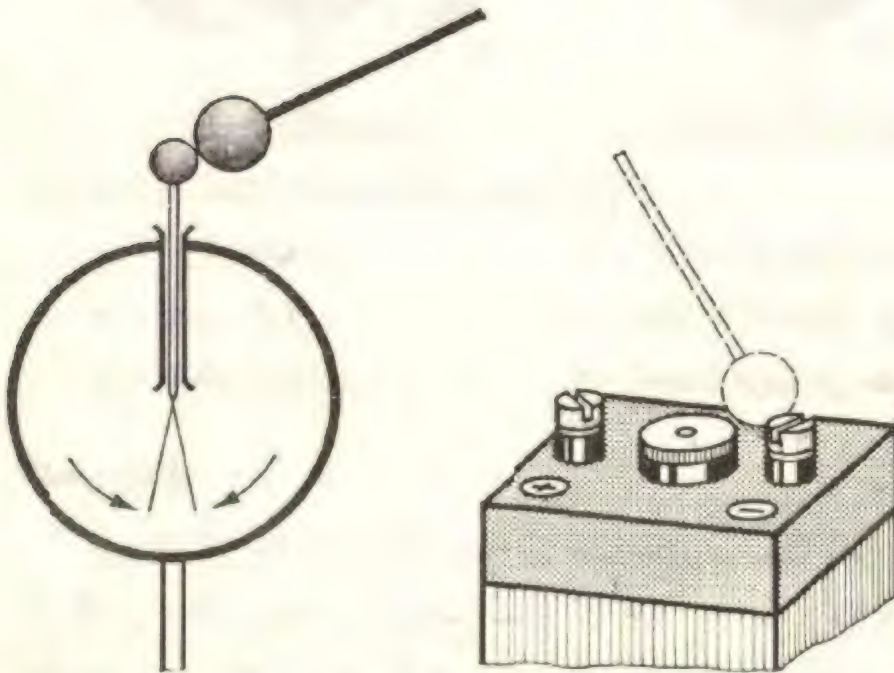
شكل ١٦ :

تجزئية الشحنات
الكهربائية :

١ - مكشاف كهربائي

١ - مستوى اختبار
كهربائي .

٢ - بطارية .



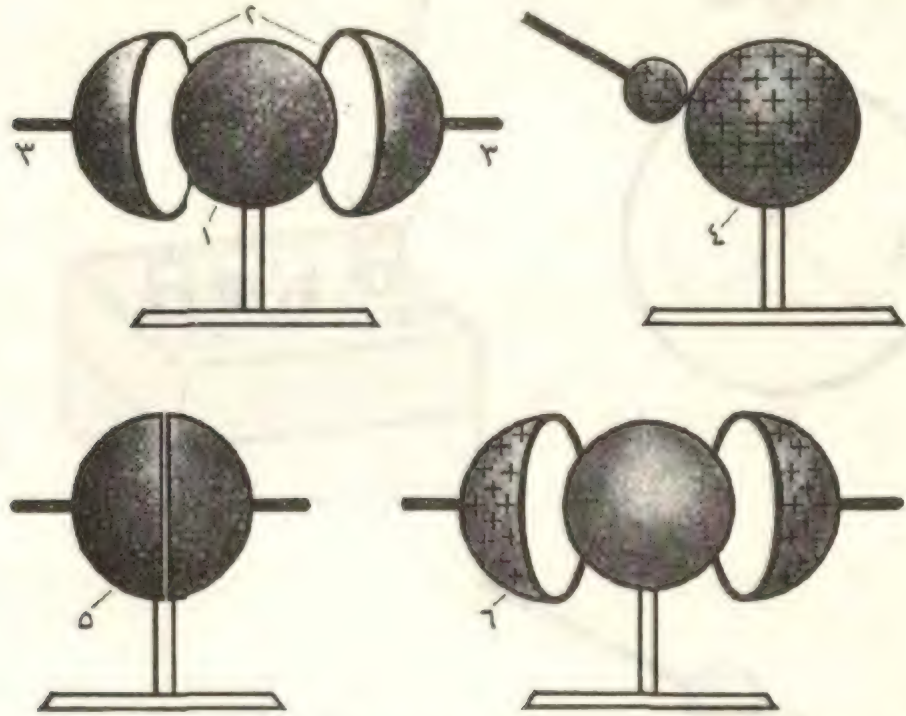
شكل ١٧ :

أسباب تجزئية الشحنات
الكهربائية عند تفريغ
المكشاف .

ويمكن إثبات هذه الظاهرة بمساعدة الترتيب الموضحة في الشكل (١٨) . وتتكون هذه الترتيب من كرة مجوفة ونصفي كرة مجوفين من المعدن ، ولكل من الأخيرين مقبض معزول . ويمكن لنصفي الكرة أن ينطبقا تمام الانطباق كل على النصف المناظر له من الكرة الكاملة . وتشحن هذه الكرة بمساعدة مستوى اختبار كهربائي من بطارية ، ثم يطبق نصف الكرة على الكرة

المشحونة تطبيقاً تاماً ، ثم يحركان بعيداً عنها . وتبعاً لذلك تظهر شحنة كهربائية على نصفي الكرة ، بينما تصبح الكرة الكاملة متعادلة كهربائياً .

و تستخدم ظاهرة استقرار الشحنة الكهربائية على أسطح لأجسام في الأغراض الهندسية ، فمثلاً ، في صناعة موانع الصواعق ، وفي حجب الأسلاك والمركبات المستخدمة في هندسة التردد العالي ، وفي دلائل الموجة المعدنية المحفوفة المستخدمة في نقل الطاقة الكهربائية العالية .

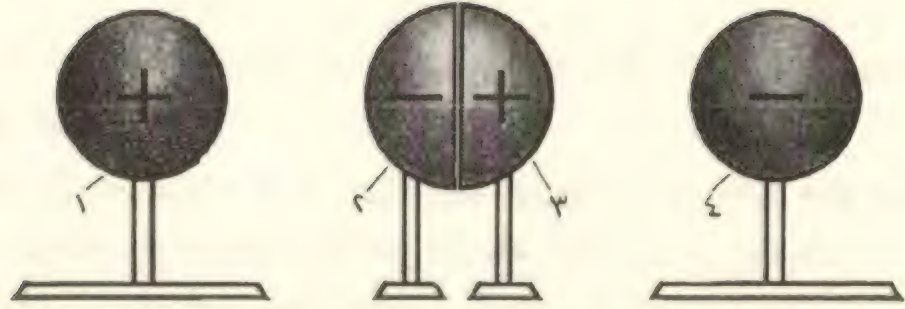


شكل ١٨ : التصافي الشحنات الكهربائية بالسطح :

- ١ - كرة معدنية .
- ٢ - نصف كرة .
- ٣ - مقبض معزول .
- ٤ - كرة معدنية عليها شحنة موجبة .
- ٥ - نصفاً كرة منطبقان على كرة مشحونة .
- ٦ - شحنات موجبة على سطح نصفي الكرة بعد إبعادها .

الشحن بالتأثير :

يبين الشكل (١٩) إمكانية منح أى جسم مكهرب جسماً آخر شحنات كهربائية ، دون أى تلامس مباشر بينهما . ويوضع نصفاً كرة بحيث يتلامس وجهها تماماً ، وذلك بين كرتين معدنيتين (من نفس النوع كما هو موضح بالشكل ١٨) . ويتم شحن الكرتين المعدنيتين كل منهما بشحنة كهربائية عكس الأخرى (إحداهما موجبة والأخرى سالبة) . يختبر نصفاً الكرة قبل وضعهما في مكانهما ، للتأكد من أنهما غير مشحونين ، ويتم ذلك بواسطة مكشاف كهربائي . وبترك نصفي الكرة بين الكرتين المشحونتين فترة وجيزة نجد أنهما أصبحا يحملان شحنة كهربائية . وهذا يعني أنهما قد شحنا بالتأثير .



شكل ١٩ : الشحن بالتأثير :

- ١ - كرة معدنية عليها شحنة موجبة .
 ٢ - نصف كرة عليه شحنة سالبة .
 ٣ - نصف كرة عليه شحنة موجبة .
 ٤ - كرة معدنية عليها شحنة سالبة .

يلاحظ أن توزيع الشحنات على نصفي الكرة يتم في نفس الوقت . ويحمل نصف الكرة المواجه للكرة الموجبة شحنة سالبة ، بينما يحمل النصف الآخر المقابل تلك السالبة شحنة موجبة . ونستنتج من هذه الظاهرة ما يلي :

أولاً : حيث أنه ليس هناك تلامس مباشر بين أجسام الاختبار ، فإن الحث ينتج خلال الوسط المحيط بها (وهو الهواء في هذه الحالة) .

ثانياً : أنه ليس من الضروري أن تكون الأجسام التي لا تتحن لا تحمل الكهرباء . كما يتضح ذلك من فصل الشحنات على نصفي الكرة . ويجب ملاحظة أن الشحن بالتأثير للأجسام يحدث أيضاً في أوساط أخرى مثل الفراغ والزيت .

تكون الشحنات الكهربائية على المعادن قابلة للانتقال والتجزئة ، وتستقر الشحنات الكهربائية دائماً على أسطح المعادن . ويحدث انفصال الشحنات بتقريب جسم مشحون من آخر غير مشحون ، ويكون الأخير متعادلاً كهربائياً من قبل ذلك .

٢/٣ - الشحنات الكهربائية المتحركة :

(١) التيار الكهربائي :

يطلق على الأجهزة والمكونات التي يتم فيها انفصال الشحنة « مصادر للجهد » ، ومن أمثلتها : المراكم والبطاريات السائلة والأعمدة الابتدائية التي تستخدم في مشعل الجيب ، وكذلك المولدات المستخدمة في محطات توليد القوى . وسوف يتم فيما بعد شرح الطريقة التي يتم بها انفصال الشحنات في مصادر الجهد . وفي هذا المجال يشار إلى الحقيقة أن الشحنات الكهربائية المنفصلة تظهر عند أطراف مصادر الجهد العاملة .

يكون الطرف الموجب لمصدر الجهد للشحنة الموجبة هو المكان الذي يوجد به « نقص في الإلكترونات » ، بينما يكون الطرف السالب لنفس المصدر للشحنة السالبة هو المكان الذي به « زيادة في الإلكترونات » .

وعندما يكون طرفاً مراً في وسط كالهواء ، مثلاً ، فإن تعادل الشحنات يستغرق زمناً طويلاً جداً (قد يبلغ عدة سنوات) . أما إذا كان الوسط الموصل بين هذين الطرفين معدنياً كالنحاس مثلاً ، تحدث الظاهرة التالية : تتحرك الشحنات السالبة (الإلكترونات) خلال هذا المعدن

في اتجاه الطرف الموجب لمصدر الجهد . وفي هذه الحالة تظهر شحنات كهربائية متحركة يطلق عليها « سريان التيار الكهربائي » .

وتسمى الأوساط التي يسرى بها ، أو يمر خلالها تيار كهربائي ، حيث تكون هناك شحنات كهربائية متحركة « الموصلات الكهربائية » بينما تسمى الأوساط الأخرى « غير الموصلات » . ويعتبر التوصيل أو سريان التيار خلال المعادن ، نوعا من أنواع سريان التيار . وهناك أنواع أخرى لسريان التيار الكهربائي خلال السوائل الموصلة (الكتروليت) ، وخلال الغازات والفراغ المخلخل بالغازات ، وكذلك خلال المواد شبه الموصلة . وهذه الأخيرة تكون مجموعة من المواد ، يمكن إدراجها بين الموصلات وغير الموصلات ، مع أخذ تصرفها تجاه الكهرباء في الاعتبار . وسنناقش بالتفصيل فيما بعد الأنواع المتعددة لتوصيل التيار الكهربائي .

(ب) آلية توصيل التيار الكهربائي في المعادن :

التركيب الذري للموصلات المعدنية :

جميع المعادن صلبة ما عدا الزئبق . وتتكون المعدن النقية من ذرات تشكل ترتيبية منتظمة تسمى « التشكيل البلوري للمعادن » كما في الشكل (٢٠) .

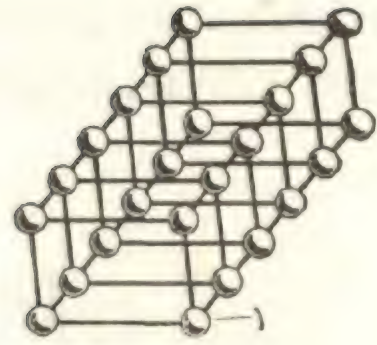
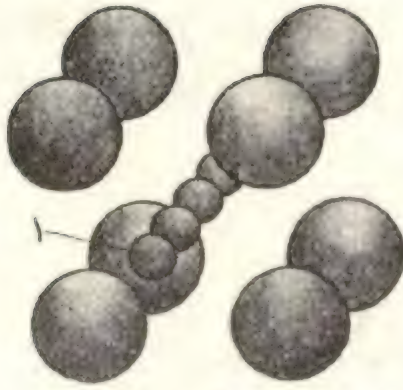
وتنفصل الإلكترونات عن ذراتها في هذا الترتيب البلوري للذرات ، ويطلق على الأجزاء الذرية المتبقية « أيونات » . وترتبط هذه الأيونات مع بعضها البعض بتأثير قواها الكهربائية الاستاتيكية محتفظة بأوضاعها بالنسبة لبعضهما البعض . وتتحرك الإلكترونات الشاردة خلال المركب المتأين . وإذا لم يتعرض المعدن لأي مؤثر كهربائي ، لا يكون لحركة الإلكترونات الحرة أي اتجاه مفضل ، وعلى هذا يكون المعدن متعادلا كهربائيا .

حركة الإلكترونات الحرة كتوصيل للتيار :

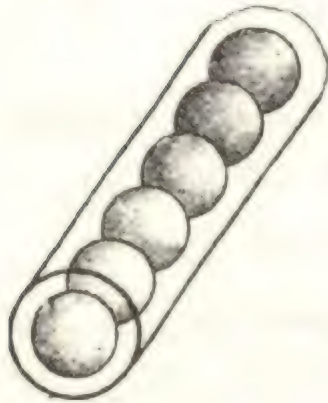
يبين الشكل (٢١) نموذجا من موصل كهربائي به إلكترونات حرة يطلق عليها أيضا إلكترونات توصيلية . ويعطى الشكل (٢٢) زيادة في الايضاح للنموذج السابق ، مع الأخذ في الاعتبار أن الإلكترونات الحرة يمكنها أن تتحرك في الفراغ ، ويمثل هذا الشكل نموذجا لأنبوبة والإلكترونات بداخلها كأنها كرات . ويبين الشكل (٢٣) منظرا لقطاع لتمثيل المبسط لهذا النموذج .

يفسر تعادل الشحنات في حالة توصيل طرفي مصدر الجهد بموصل معدني على الوجه التالي : يخترق أحد الإلكترونات الحرة الموصل المعدني من الجهة التي بها زيادة في الإلكترونات ، ويخبط إلكترونات أخرى مسببا دفعه مسافة بسيطة في الاتجاه الذي به نقص في الإلكترونات . ويخبط هذا بالتالي إلكترونات ثانيا مسببا دفعه في نفس الاتجاه ، حيث يخبط بدوره الإلكترونات ثالثا، ويخبط الإلكترون الثالث إلكترونات رابعا ، وهكذا تتوالى هذه العملية .

ونتيجة لذلك تتحرك الإلكترونات الحرة في الموصل المعدني في اتجاه مفصل نحو المكان الذي به نقص في الإلكترونات ، حتى يحدث التعادل بين الشحنات .



شكل ٢٠ : تمثيل تخطيطي للتركيب البلوري : شكل ٢١ : نموذج لموصل معدني به إلكترونات حرة :
١ - جزئ أولي .



شكل ٢٢ : نموذج مبسط للإلكترونات الحرة .



شكل ٢٣ : منظر قطاع للنموذج المبين في شكل ٢١

سرعة الانتشار وسرعة الانسياب :

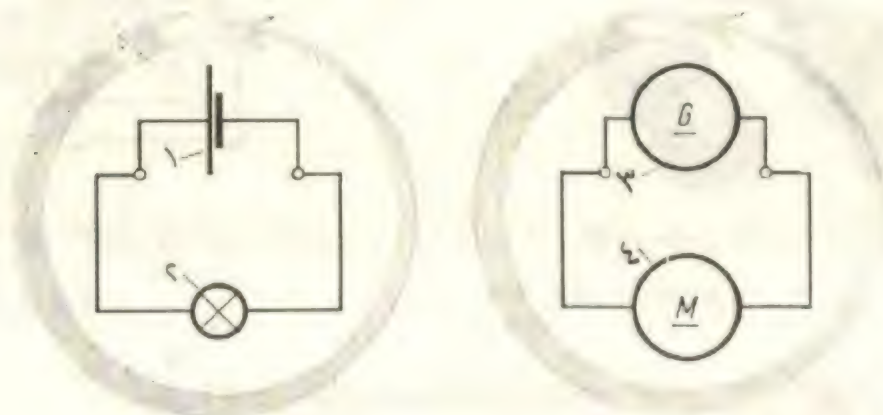
عندما نوقد مثلاً ، مشعل جيب ، تضيئ برهة قصيرة من الزمن حتى يشتعل المشعل . وهذا يبين أن الكهرباء تنتشر بسرعة قدرها ٣٠٠٠٠٠ كم/ثانية . ويجب ألا يكون هناك خلط بين سرعة انتشار الكهرباء وسرعة انسياب الإلكترونات . ويمكن استنتاج هذه الحقيقة من الشكل (٢٣) ويحدث انتشار الدفع بسرعة عالية ، وهذا يعني أن الفترة التي يتلقى خلالها أول وآخر إلكترون دفعة سوف تكون قصيرة جداً ، بينما يكون الزمن اللازم لكي يحل الإلكترون محل آخر ، حتى يصل إلى المكان الذي به نقص في الإلكترونات أطول نوعاً ما . وقد وجد أن سرعة انسياب الإلكترونات تكون حوالي م/ثانية .

تسمى الشحنات الكهربائية المتحركة « التيار الكهربائي » . وتوصيل التيار في الموصلات المعدنية هو توصيل للإلكترونات ، أي تتحرك الإلكترونات من المكان الذي به زيادة في الإلكترونات إلى المكان الذي به نقص في الإلكترونات . ويميز بين سرعة الانتشار للكهرباء وسرعة الانسياب للإلكترونات .

(ج) دائرة التيار الكهربائي :

يكون أي نظام كهربائي من مصدر للجهد . وسلك منه إلى جهاز يعمل بالكهرباء ، وسلك آخر منه رجوعاً إلى المصدر « دائرة تيار كهربائية » أو باختصار « دائرة كهربائية » .

وتبين الأشكال من (١) إلى (٤) مثل هذه الدوائر . وفي الحياة العملية تدخل عادة نبائط تشغيل في الدائرة الكهربائية (كما في الشكل (٢) على سبيل المثال) وذلك لفتح وقفل الدائرة بالطريقة المطلوبة .



شكل ٢٤ : مقارنة بين دائرتين .

١ - بطارية كمصدر للجهد .

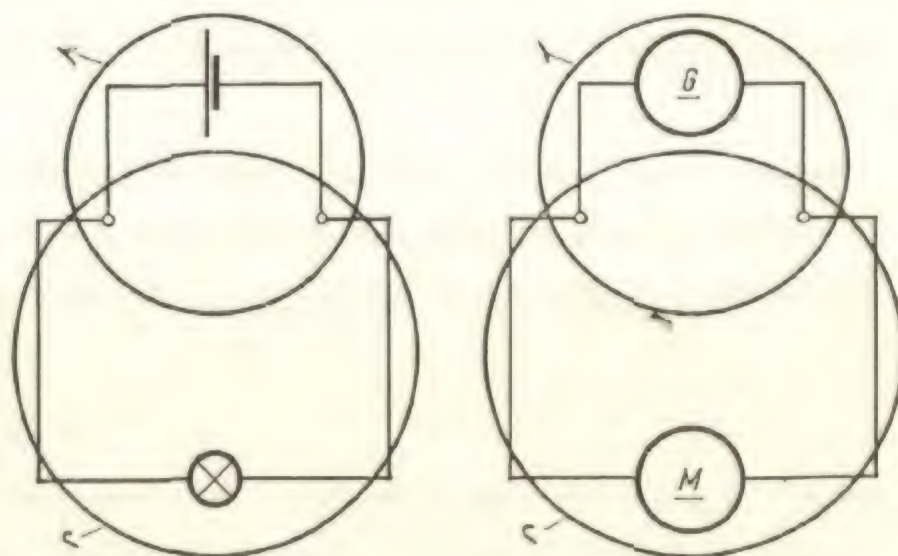
٢ - مولد كهربائي كمصدر للجهد .

٣ - محرك كهربائي .

٤ - مصباح كهربائي .

الدوائر الكهربائية الداخلية والخارجية :

يبين الشكل (٢٤) دائرتين كهربائيتين ، وبالرغم من اشتغالهما على عناصر أو مركبات مختلفة (مصادر الجهد : مرآة ومولد ، مستخدمات كهربائية : مصباح متوهج ومحرك كهربائي) ، فإنه يعبر عن كل منهما برمز واحد . وتميز الدوائر : بدوائر داخلية وأخرى خارجية . ويجرى مثل هذا التمييز لعدة أسباب منها ما يلي : عندما تأخذ في الاعتبار دائرة كهربائية من اوية سريان الإلكترونات ، نجد أن الإلكترونات تسرى خلال الدائرة الخارجية من



شكل ٢٥ :

دوائر كهربائية داخلية

وخارجية :

١ - دائرة كهربائية

داخلية .

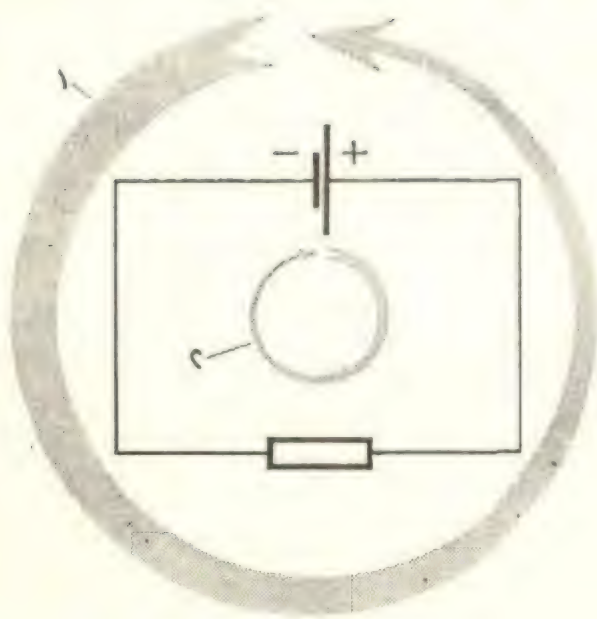
٢ - دائرة كهربائية

خارجية .

الطرف المشحون بالسالب لمصدر الجهد خلال الموصل والجهاز إلى الطرف المشحون بالموجب للمصدر ، وتسرى الإلكترونات في الدائرة الداخلية في اتجاه عكس ذلك (الشكل ٢٥) .

تعريف موجزة لمصطلحات أساسية :

تتكون الدائرة من عدة عناصر . وتكون جميع عناصر الدائرة موصلات كهربائية . ويسرى التيار الكهربائي فقط في الدائرة الكهربائية المقفلة .



شكل ٢٦ :

- اتجاه سريان الإلكترونات والتيار الكهربائي :
- ١ - اتجاه سريان الإلكترونات (نتيجة علمية) .
- ٢ - اتجاه سريان التيار الكهربائي (اتفاقي) .

تستخدم مصادر الجهد في توليد الطاقة الكهربائية ، ويمكن أن نستنتج مما سبق (بالفصل الأول) أن مصطلح « توليد الطاقة » ليس تعبيراً دقيقاً ، لأن ما يحدث فعلاً هو تحويل الطاقة . وتستخدم الأسلاك أو الخطوط كممرات للتيار الكهربائي : من مصدر الجهد إلى الجهاز الكهربائي ثم الرجوع إلى المصدر .

وتحول الأجهزة التي تعمل بالكهرباء الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى منها ، ويطلق على هذه الأجهزة عادة « محولات الطاقة » (حيث لا يتمشى المصطلح « حمل » المستخدم ، في كثير من الأحيان مع وجهات النظر الحديثة) .

وتستخدم نبائط التشغيل أو مجموعة مفاتيح التشغيل في توصيل أو قطع أو فصل التيار الكهربائي

اتجاه سريان الإلكترونات والتيار الكهربائي :

ذكرنا فيما سبق أن اتجاه سريان الإلكترونات في دائرة كهربائية خارجية يكون من المكان الذي به زيادة في الإلكترونات ، أي الطرف المشحون بالسالب أو القطب السالب

لمصدر الجهد إلى القطب الموجب لهذا المصدر . وقبل استنتاج هذه الحقيقة ، كان للمصطلحات أهمية كبرى بالنسبة للهندسة الكهربائية ، كما تقبل الفنيون الكهربائيون واستعملوا بارتياح تعاريف المصطلحات كوسيلة للتفاهم فيما بينهم . وقد اتفق اختياريا في هذا الخصوص على ما يلي :
يكون اتجاه التيار الكهربائي من القطب الموجب إلى القطب السالب لمصدر الجهد . ويضاد ذلك السريان الفعلي للإلكترونات . ويبين الشكل (٢٦) هذين الاتجاهين .

ويمكن تفسير عدة ظواهر كهربائية على أساس تيارات الإلكترونات والايونات ، وسيبين ذلك عند ورود أي من هذه التفسيرات في هذا الكتاب .

الفصل الرابع

الكميات الكهربائية الأساسية

تستخلص من نتائج الأبحاث العلمية والهندسية ، قوانين مبنية على « كميات » معرفة بدقة تامة . ومن أمثلة هذه الكميات : الزمن - الطول - الكتلة - القوة .

ولتسهيل كتابة مصطلحات هذه الكميات ، يرمز لها « برموز » تستخدم بكثرة في الصيغ المختلفة . وتستخدم الحروف ، عادة ، لهذه الرموز ، وعلى سبيل المثال : يمكن أن يرمز للطول بالرمز « ل » وهكذا .

والكميات المستخدمة في الهندسة الكهربائية على سبيل المثال هي : شدة التيار ، والجهد ، والمقاومة ، والمواسعة ، والمحاثة .

ويستخدم لقياس كل كمية وحدة واحدة على الأقل . ووحدة كمية الطول ، مثلا ، هي المتر . وتستخدم الرموز ، عادة ، للتعبير عن الكميات ، بينما تستخدم الاختصارات للدلالة على الوحدات كما يلي :

الوحدة	الاختصار
ثانية	ث
متر	م
كيلوجرام	كجم

والوحدات المستخدمة في الهندسة الكهربائية ، على سبيل المثال ، هي : الامبير ، والفولط ، والأوم .

وينصح في كثير من الحالات بالتعبير عن الوحدات بمضاعفاتها وأجزائها ، فمثلا ، لا يعبر عن الأطوال بالمتر ، عادة ، بل يعبر عنها بمضاعفات المتر وأجزائه .

أمثلة :

لا تعطى المسافات في كثير من الأحيان بالمتر ، بل تعطى بالكيلومتر . فمثلا ، إذا كانت المسافة ١٠ كيلومتر (١٠ كم) ، والكيلومتر هو مضاعف المتر ، أي أن ١ كيلومتر = ١٠٠٠ متر (١ كم = ١٠٠٠ م) .

وعادة ، توقع الأبعاد على رسومات التشغيل الهندسية بالمليمتر ، فثلاً طول رافعة تحكم هو ٢٤٠ مليمتر (٢٤٠ مم) . والمليمتر هو جزء من وحدة المتر ، والمتر يعادل ١٠٠٠ مم ، أى أن (١ م = ١٠٠٠ مم) .

والميجاواط هو مضاعف وحدة الواط . حيث ١ ميجاواط = ١٠٠٠٠٠٠ واط . وفيما يلي اختصارات للمضاعفات وأجزائها الأكثر استخداماً .

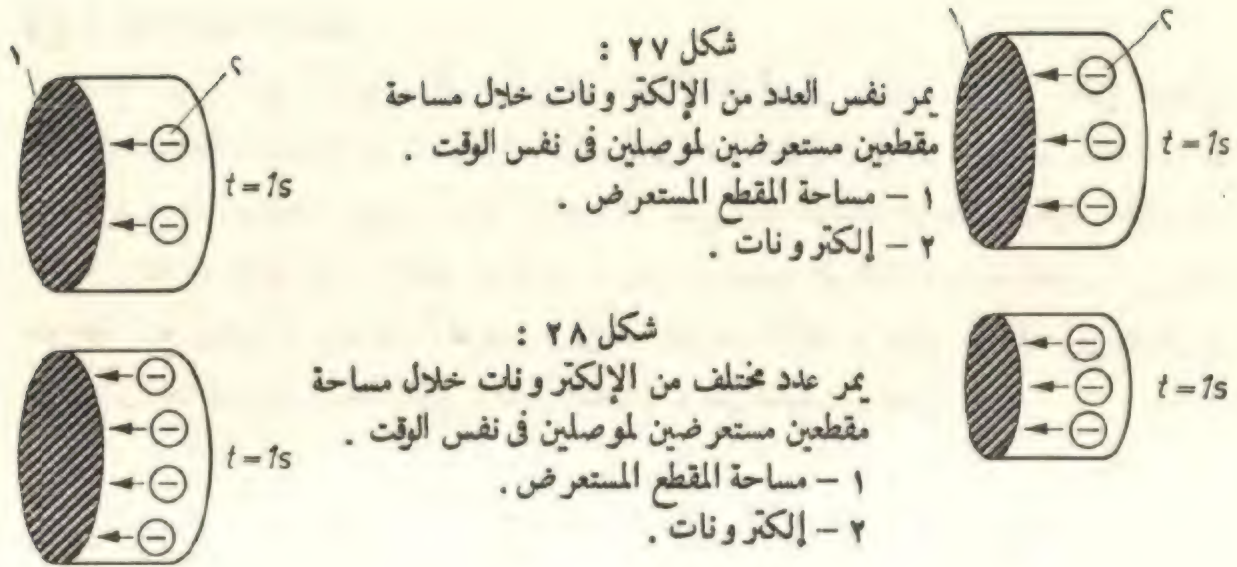
المصطلح	الاختصار	القيمة
Tera	تيـ T	١٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ وحدة
giga	جيـ G	١٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ وحدة
mega	ميـ M	١٠٠٠ ٠٠٠ »
kilo	كـ K	١٠٠٠ »
hecto	هــ h	١٠٠ »
deca	ديـ da	١٠ »
—	—	١ »
deci	دسـ d	٠,١ »
centi	سـ c	٠,٠١ »
milli	مـ m	٠,٠٠١ »
micro	مــ µ	٠,٠٠٠ ٠٠١ »
nano	نـ n	٠,٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠١ »
pico	بــ P	٠,٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠١ »

١/٤ - شدة التيار :

(١) تعريف شدة التيار :

كثيراً ما يستخدم المصطلحان التيار وشدة التيار دون تفرقة بين مدلوليهما ، برغم وجود علاقة وثيقة بينهما . فقد يؤدي هذا بسهولة إلى سوء تفسير أى ظاهرة فى الهندسة الكهربائية وعدم فهمها ، وتعتمد شدة التيار على عدد الإلكترونات المارة خلال مقطع من موصل فى الثانية . ويوضح ذلك كل من الشكل (٢٧) والشكل (٢٨) .

والشكل (٢٧) مثال لموصلين بمقطعين مختلفى المساحة ، ويمر خلالهما نفس العدد من الإلكترونات (ثلاثة فى الحالتين) فى الثانية . وطبقاً لهذا الشكل يتضح أن شدة التيار تكون متساوية فى كل من الموصلين بغض النظر عن مساحة مقطعهما المستعرضين .



والشكل (٢٨) مثال لموصلين متساويين في مساحة مقطعهما المستعرضين ، وعدد الإلكترونات التي تمر خلال مساحة المقطع المستعرض العلوي يساوي نصف عدد الإلكترونات التي تمر في نفس الزمن خلال مساحة المقطع المستعرض السفلي . وتبعاً لذلك ، فإن شدة التيار في الموصل العلوي يساوي نصف شدة التيار ، فقط ، في الموصل السفلي .

(ب) وحدة شدة التيار :

وحدة شدة التيار هي الأمبير (وتكتب باختصار مب)

الكية	الرمز	الوحدة	الاختصار
شدة التيار	ت	أمبير	مب

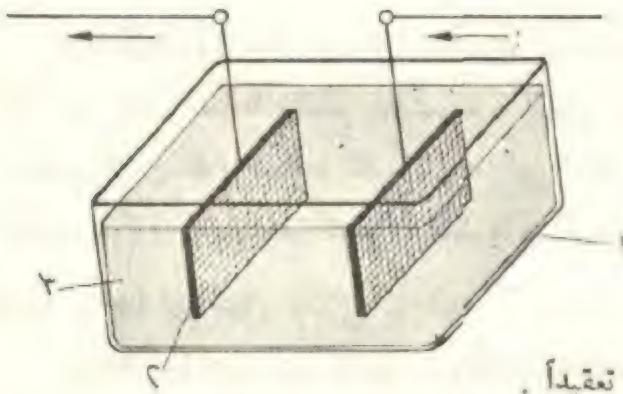
وقد أطلق اسم أمبير على وحدة شدة التيار نسبة إلى عالم الطبيعيات الفرنسي أمبير (Ampère).

وتختلف شدة التيار اختلافاً كبيراً كما يبين ذلك الحصر التالي :

الصواعق	حتى ٢٠٠٠٠ أمبير
أفران الصهر	١٠٠٠٠٠ أمبير
إنتاج الألومنيوم	١٠٠٠٠٠ أمبير
في الحمام	١٠٠٠ أمبير
بادئ الحركة للسيارة	١٠٠ أمبير
الأجهزة المنزلية الكهربائية	حتى ٦ أمبير
الثلاجة الكهربائية	٥,٠ أمبير
المشعل الكهربائي	٢,٠ أمبير
أنابيب إلكترونية لاسلكية	٥,٠٠٠٠٠ أمبير
سماعة أذن للمستقبل الكاشف	١,٠٠٠٠٠٠٠٠٠ أمبير

(ج) إيجاد قيمة شدة التيار :

شدة التيار كمية أساسية ، أى يمكن استنتاج كميات أخرى منها . فثلاً ، يمكن استنتاج الكمية « المساحة » بسهولة من الكمية الأساسية « الطول » (الطول بالمتر ، والمساحة $h = l \times l$ بالمتر المربع) . ويمكن بسهولة نوعاً ما إيجاد أو تعيين قيمة الوحدة الأساسية للكميات الأساسية المعينة . فثلاً ، يحفظ المتر الامامى الدولى فى باريس ، ويعتبر الوحدة الأساسية للطول . ويوجد منه عدة نسخ إمامية فى عدة بلاد أخرى . وبواسطة مثل هذه الأئمة ، يمكن على المستوى الدولى ، ملافاة أى خطأ قد ينشأ فى مجال تقييم وقياس الكميات ، التى تعتمد على الطول .



شكل ٢٩ :

حوض جلفانى أو إلكتروليتى يستخدم لترسيب الفضة .

١ - وعاء .

٢ - إلكترود .

٣ - محلول نترات الفضة القلوى .

ولإيجاد وحدة شدة التيار نجد أنها أكثر تعقيداً .

واستخدمت لهذا الغرض لفترة طويلة الكيفية التالية :

يمرر تيار كهربائى خلال حوض جلفانى ، (الشكل ٢٩) ، يحوى محلول نترات الفضة القلوى كسائل موصل كهربائياً . فيتحلل هذا المحلول كيميائياً ، وترسب نترات الفضة على أحد الإلكترودين . وتكون شدة التيار أمبير واحد عندما يرسب هذا التيار كمية من الفضة زنتها ١,١١٨ مليجرام فى الثانية الواحدة .

وقد اتفق على التعريف التالى :

تكون قيمة شدة تيار كهربائى أمبير واحد ، إذا رسب هذا التيار ١,١١٨ مليجرام فضة بمروره فى محلول نترات الفضة القلوى لمدة ثانية واحدة .

ويتضح من ذلك صعوبة إيجاد شدة التيار بهذه الطريقة ، وخاصة إذا أريد تعيينها بدرجة عالية من الدقة . ويضاف إلى ذلك رغبة الأوساط العلمية والهندسية فى إدراج الوحدات والكميات تحت نظام يمكن فيه ربطها بعضها ببعض . ولهذا السبب تعرف اليوم شدة التيار بأنها قوة . وبنفس الطريقة ، كما هو الحال فى جهاز قياس فرق الجهد المطلق المستخدم فى قياس الجهود على أساس التأثيرات الديناميكية ، يستخدم ميزان الأمبير لتعيين شدة التيار الكهربائى . وفيما يلى شرح لميزان الأمبير طبقاً لراى (Raleigh) .

بالشكل (٣٠) أساس ميزان الأمبير هذا . فيرتكز ذراعاً رافعة على إطار ميزان . ويحمل أحد طرفي الرافعة كفة ميزان ، ويحمل الطرف الآخر ملفاً مفلطحاً قطره حوالى ٢٠٠ مم . ويوضع هذا الملف بين ملفين آخرين مفلطحين غير متحركين ، وقطر كل منهما ضعف قطر الملف المتحرك . وتوصل الملفات الثلاثة بموصلات رفيعة من الفضة . فعند مرور التيار الكهربائى فى هذه الملفات ، يحدث فيها تأثيرات ديناميكية تدفع بالملف المتحرك بعيداً عن وضع اتزانه . ويمكن إعادة التوازن إلى أصله بوضع سنج فى كفة الميزان . وتجربى حسابات معقدة لتعيين القوة التى تبذلها هذه السنج للاحتفاظ بالملف فى حالة اتزان ، وذلك عند مرور تيار شدته أمبير واحد .

شكل ٣٠ :

ميزان الأمبير طبقاً لى الى :

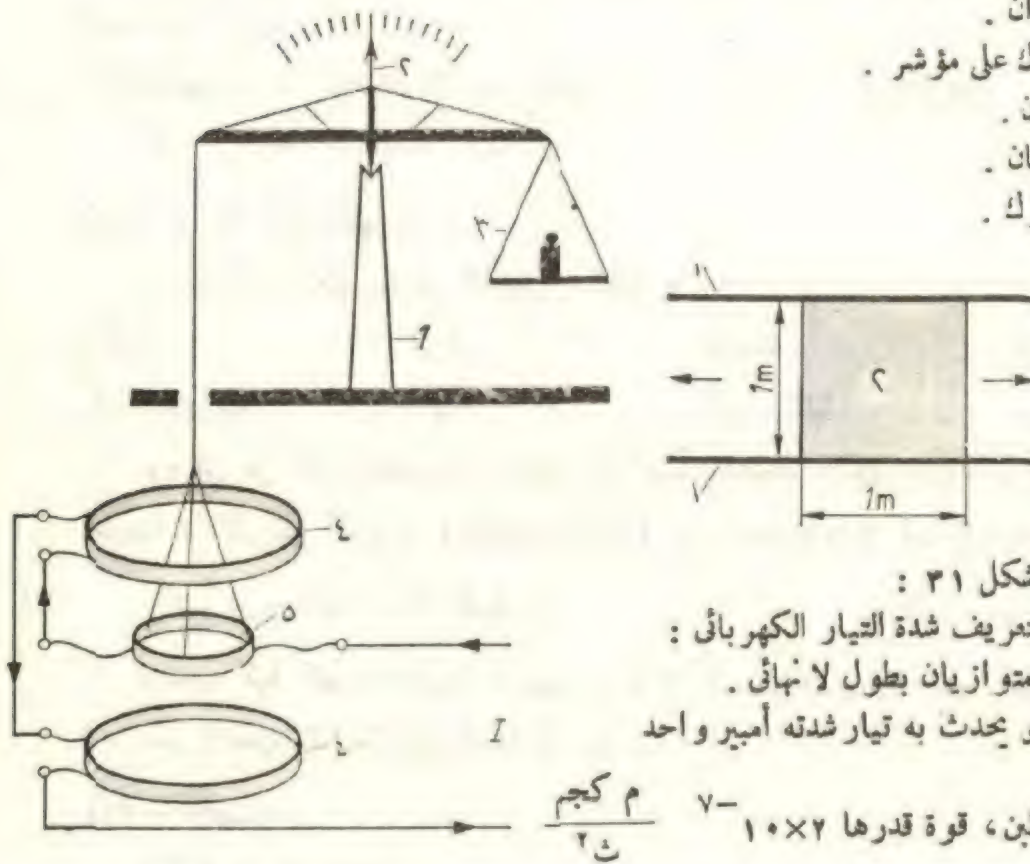
١ - إطار الميزان .

٢ - تدريج يتحرك على مؤشر .

٣ - كفة ميزان .

٤ - ملفان مثبتان .

٥ - ملف متحرك .



شكل ٣١ :

إيضاح خاص بتعريف شدة التيار الكهربائى :

١ - موصلان متوازيان بطول لا نهائى .

٢ - الفراغ الذى يحدث به تيار شدته أمبير واحد

مار بموصلين ، قوة قدرها 10×2 - م كجم $\frac{1}{2}$

وبناء على عمليات الوزن هذه ، وعلى عمليات رياضية معقدة إلى حد ما ، تعرف شدة التيار ،

بقوة يحدثها موصلان متوازيان لا نهائيا الطول

ت = ١ أمبير .

٢/٤ - كمية الكهرباء :

(١) تعريف « كمية الكهرباء » :

أمكن شرح وتعريف شدة التيار الكهربائى بمساعدة الشكل (٢٧) ، والشكل (٢٨) ،

بأنه عبارة عن عدد معين من الإلكترونات تمر عبر مساحة مقطع مستعرض لموصل فى ثانية واحدة .

وحيث أن وحدة شدة التيار قد عرفت ، فإنه يمكن أيضاً تعريف كمية الكهرباء ووحدها .
إذا اعتبرت كمية الكهرباء (ك) بأنها عدد ما من الإلكترونات ، فيمكن إيجاد شدة التيار الكهربائي (ت) ، من خارج قسمة كمية الكهرباء (ك) على الزمن (ز) الذي يستغرقه مرور كمية الكهرباء هذه ، طبقاً للصيغة التالية :

$$\text{شدة التيار لكهربائي} = \frac{\text{كمية الكهرباء}}{\text{الزمن (زمن مرور التيار)}}$$

$$\text{أي أن } \frac{ك}{ز} = ت$$

ويمكن أن نستنتج من هذه الصيغة تعريف كمية الكهرباء بأنها تساوى حاصل ضرب شدة التيار في الزمن :

$$\text{كمية الكهرباء} = \text{شدة التيار} \times \text{الزمن}$$

$$ك = ت \times ز$$

(ب) وحدة كمية الكهرباء :

وحدة كمية الكهرباء هي الأمبير - ثانية

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
كمية الكهرباء	ك	أمبير - ثانية	مب - ث

ويطلق على كمية الكهرباء ، والمعروفة أيضاً بالشحنة الكهربائية ، كولوم ، نسبة إلى عالم الطبيعيات الفرنسي كولوم (Coulomb) ، واختصارها (كب) وينتج من هذا أن

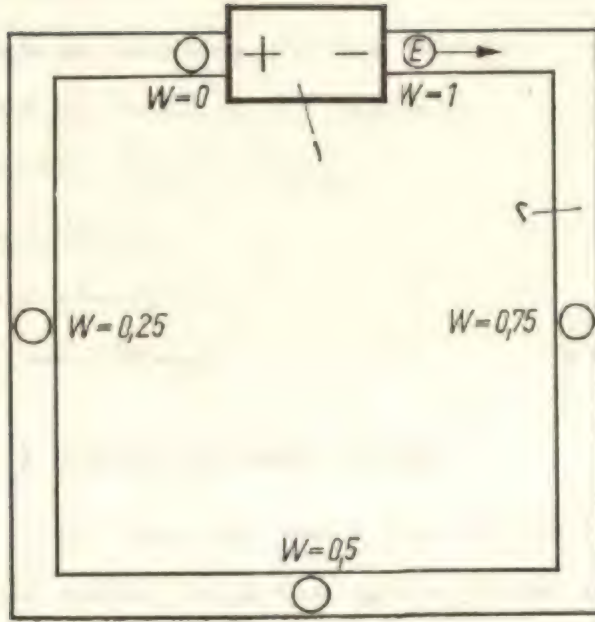
$$١ \text{ أمبير - ثانية} = ١ \text{ كولوم} \quad (١ \text{ مب - ث} = ١ \text{ كب})$$

وتنتج كمية كهرباء قدرها ١ مب. ث (١ كب) عند إمرار تيار كهربائي شدته ١ أمبير (١ مب) لفترة مقدارها ثانية واحدة (١ ث) .

٣/٤ - الجهد :

(١) تعريف الجهد :

يصحب أي انفصال في الشحنة الكهربائية استهلاك في الطاقة ، أو شغل ، (حيث أن الطاقة والشغل هما كيتان فيزيائيتان من نفس النوع) . وتكتسب الإلكترونات جزءاً من الطاقة المستهلكة عند فصل الشحنات . فجزء من الطاقة الناتجة عن ذلك قضيب من الزجاج وتشغيل دينامو أو مولد ، وجزء من الطاقة الكيميائية في بطارية مشعل الجيب ، يعطى للإلكترونات كطاقة دفع أو شغل (ش) . ويمكن طاقة الدفع هذه من مرور الإلكترونات عبر دائرة كهربائية مقفلة إلى القطب الموجب لمصدر الجهد ، مسببة توازناً في الشحنات . وتسمى طاقة الدفع « الجهد » وكانت تسمى من قبل « التوتر الكهربائي » ولكن بطل استعمال هذه التسمية .



الشكل ٢٢

كيفية تصور فكرة الجهد الكهربائي

١ - مصدر جهد (فولطية)

٢ - مسار التيار الكهربائي

ويوضح الشكل (٢٢) المقصود بالمصطلح « جهد » . ينتقل الإلكترون مزوداً بطاقة دفع ش = ١ ، في حالة قفل الدائرة ، من القطب السالب لمصدر الجهد (١) خلال مسار التيار (٢) . وبهذا يستنفد الإلكترون شغلا ، تتحول أثناءه قوة الدفع إلى شكل آخر من الطاقة عادة ، طاقة حرارية) . وعندما يقطع الإلكترون ربع مسار التيار ينخفض جهده (قدرته الدافعة) بمقدار الربع ، وعندما يقطع هذا الإلكترون نصف مسار التيار ، ينخفض جهده بمقدار النصف . ويصبح جهده صفراً عندما يصل إلى القطب الموجب لمصدر الجهد .

استهلاك التيار وهبوط الجهد :

أوردنا في بداية هذا الكتاب بصفة عامة ملاحظات تتعلق بتأثيرات التيار الكهربائي من الناحية التنشيطية . وقد أصبح يسيراً علينا ، بعد معرفة هذه الملاحظات بالإضافة إلى المعلومات التي سبق الإشارة إليها عن الجهد ، أن نزيل من الأذهان الخطأ الشائع المسمى « استهلاك التيار الكهربائي » ، حيث لا يمكن أبداً أن يستهلك التيار الكهربائي أو الإلكترونات المتحركة ، وكذلك فإن الجهد لا يستهلك ، بل يتحول شكل من الطاقة إلى شكل آخر منها . وفيما يتعلق بالجهد فقد قيل في هذا المجال : ينخفض الجهد تدريجياً في دائرة التيار المقفلة ، وذلك يحدث على طول المسار من القطب السالب إلى القطب الموجب . ويطلق على هذا « هبوط الجهد » أو « الفقد في الجهد » أو « هبوط الفلطية » في الدائرة .

(ب) وحدة الجهد :

« الفلط » هو وحدة الجهد .

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
الجهد	ج	فلط	فل

وقد أطلقت هذه التسمية على وحدة الجهد نسبة إلى عالم الطبيعيات الإيطالي فولتا (Volta) .

وتختلف الجهود اختلافاً كبيراً ، كما يبين ذلك الحصر التالي :

النصواعق	حتى ١٠٠٠٠٠٠٠ فلت
خطوط نقل القدرة الكهربائية للجهود العالية جداً	٣٨٠٠٠٠ فلت
خطوط نقل القدرة الكهربائية للجهود العالية	٦٠٠٠٠ فلت
شمعات الشرر للمحركات البنزين	١٥٠٠٠ فلت
خطوط الإنارة	٢٢٠ فلت
بطاريات السيارات	١٢ فلت
دخل معدات الاسلكى	٠,٠٠٠٠٠٠٠٠ فلت

(ج) إمكانيات إيجاد قيمة وحدة الجهد :

يمكن الحصول على جهد ج قدره فلت واحد (١ نل) ، وذلك بمساعدة مصدر للجهد جلفانى (خلية جلفانية) تكون قيمة جهده معروفة بدقة ، يمكن اعتباره عملياً مصدراً ثابتاً للجهد . وهذا المصدر للجهد هو « خلية وستون الإمامية » . ويمكن الحصول على جهد قدره فلت واحد من خلية وستون الإمامية ولها جهد ثابت قدره ١,١٠٨٣ فلت عندما تكون درجة حرارة الوسط المحيط ٢٠ م° .

وهناك تعريف آخر للجهد على أساس القدرة الكهربائية . وسوف نناقش هذا التعريف فيما بعد بالفصل الثامن .

(د) التعاريف المتعددة للجهد :

وضعت تعاريف متعددة في مجال تطوير الهندسة الكهربائية ، وذلك للتعبير عن الخصائص المميزة للجهود وتطبيقاتها .

جهد مسلط :

هو الجهد الفعال في الدائرة الداخلية ، أى في خلية جلفانية أو دينامو أو مولد . ويطلق أيضاً على هذا الجهد « القوة الدافعة الكهربائية الابتدائية » . والدلالة على الجهد المسلط بصفة خاصة يرمز له بالرمز (ج) .

جهد طرفي :

هو الجهد الذى يمكن قياسه عند أطراف مصدر الجهد .
جهد التشغيل أو الجهد المقنن : هو الجهد الذى تضمن محطة القوى الكهربائية تغذية شبكة المستهلكين به كجهد تشغيل (١١٠ فلت ، أو ٢٢٠ فلت أو ٣٨٠ فلت) ، ومن جهة أخرى ، فإن الجهد المقنن هو الجهد الذى تصمم أو تقنن الأجهزة الكهربائية للتشغيل عليه (مثلاً مصباح ١٢ فلت للسيارة) .

جهد منخفض : يبين هذا التعبير مدى للجهود يصل إلى ٤٢ فلت . ولا يشكل هذا المدى عادة خطراً على حياة الإنسان .

جهد المآخذ الرئيسي : يبين هذا التعبير مدى للجهود يشتمل على الجهود بين محطات القوى والمستهلكين تنحصر في الآتي :

نظام جهد عال جداً	(حتى حوالي ٣٨٠٠٠٠ فلت)
نظام جهد عال	(حتى حوالي ١١٥٠٠٠ فلت)
نظام جهد متوسط	(حتى حوالي ٣٠٠٠٠ فلت)
نظام جهد منخفض	(١١٠ فلت ، ٢٢٠ فلت ، ٣٨٠ فلت)

٤/٤ - المقاومة :

(١) تعريف المقاومة :

يستخدم تعبير « مقاومة » في الهندسة الكهربائية للدلالة على كمية كهربائية . ولا يستخدم للدلالة على عنصر كهربائي يعوق سريان التيار الكهربائي . وإنما يطلق على هذا العنصر « مقاوم » وسوف نتعرض لشرحه فيما بعد بالفصل السادس .

وتم إيضاح الكمية الكهربائية التي يطلق عليها مقاومة بطريق غير مباشر في شرح الجهد الكهربائي : عندما يمر التيار الكهربائي خلال مسار معين ، تفقد الإلكترونات الطاقة الدافعة (الجهد) ، التي يتحول معظمها إلى حرارة . ويمكن صياغة ذلك كما يلي : يحدث مسار التيار (سواء كان هذا المسار معدنياً أو سائلاً موصلًا كهربائياً) مقاومة في طريق الإلكترونات ، ويلزم للإلكترونات التغلب على هذه المقاومة للوصول إلى تعادل في الشحنة . وسوف نبين بالفصل الخامس ، ضرورة الاعتماد على الكمية « مقاومة » في شرح قوانين الدائرة الكهربائية .

(ب) وحدة المقاومة :

وحدة المقاومة هي « الأوم »

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
مقاومة	م	أوم	Ω

واشتقت هذه التسمية لوحدة المقاومة من اسم عالم الطبيعة الألماني أوم (Ohm) .

(ج) إمكانية إيجاد قيمة وحدة المقاومة :

للحصول على وحدة المقاومة تستخدم طريقة مماثلة لتلك المستخدمة للحصول على جهد قدره فلت واحد من مصدر جهد جلفاني ، باستخدام مسار معين للتيار .

تنتج مقاومة قدرها أوم واحد (Ω) ، إذا سري تيار كهربائي خلال عمود من الزئبق حرارته مساوية لدرجة ذوبان الجليد ، ومساحة مقطعه المستعرض ١ م^٢ وطوله ١٠٦٣ متر .

وهناك تعريف آخر للمقاومة يستنتج من العلاقة المتبادلة بين الجهد وشدة التيار ، وسوف نشرح ذلك بالفصل الخامس .

الفصل الخامس

العلاقة المتبادلة بين شدة التيار والجهد والمقاومة (قانون أوم)

سنعرض في أثناء الشرح التالى ، إلى بعض أجهزة القياس التى ستأتى تفاصيل تصميمها وطرق تشغيلها فيما بعد بالجزء الثانى من هذا الكتاب (الفصل الثالث) . ويستخدم الأميتر لقياس شدة التيار ، ويستخدم الفلطمتر لقياس الجهد ، بدرجة دقة تكفى للغرض المطلوب .

ويمكن إيضاح العلاقة بين الكميات الكهربائية ، مثل شدة التيار والجهد والمقاومة ، باستخدام أجهزة القياس الكهربائية وبضع ترتيبات اختبار . ووجود مثل هذه العلاقات يفرض نفسه من خلال ظاهرة أو أخرى ، ومن المؤكد استخدام كل فرد لها :

١ - لا يضىء مشعل جيب كهربائى مقننه ٤ فلط إذا وصل بعمود جاف جهده ١,٢ فلط .
٢ - يعطى كشاف دراجة حوالى نصف ضوئه ، إذا دار دينامو هذه الدراجة بسرعة تقدر بنصف سرعته المقننة فقط .

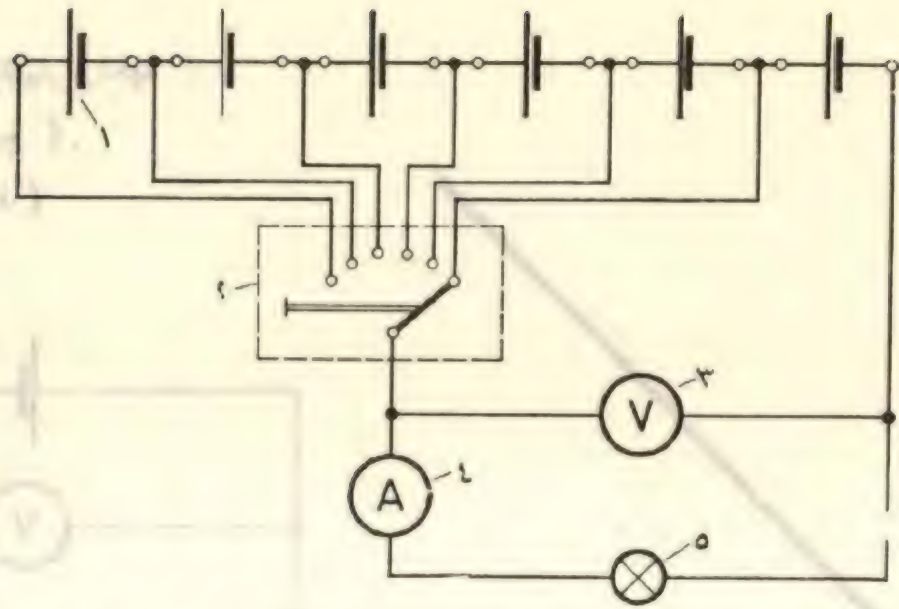
٣ - يحترق فى الحال مصباح كهربائى مقننه ١١٠ فلط ، إذا وصل بمصدر جهده ٢٢٠ فلط .

١/٥ = الخواص المميزة لشدة التيار / الجهد :

والشكل (٣٣) مثال لرسم الدائرة للترتيبة التى تستخدم فى تحديد العلاقة المتبادلة بين شدة التيار والجهد .

تتكون هذه الترتيبة من بطارية بست خلايا ، جهد كل منها ٢ فلط ، وبذلك يكون الجهد الكلى للبطارية ١٢ فلط . ويمكن الحصول على مراحل على الجهود الآتية : ٢ فلط ، ٤ فلط ، ٦ فلط ، ٨ فلط ، ١٠ فلط ، ١٢ فلط ، وذلك باستخدام مفتاح خلايا كهربائى (مفتاح منظم) . ويوصل فى هذه الترتيبة فلطمتر ليعين الجهد . وتشتمل هذه الترتيبة أيضاً على أميتر ومصباح متوهج مقننه ١٢ فلط . وتتؤخذ ست قراءات وتسجل للجهد وشدة التيار المقابلة كما يلى :

رقم القراءة	الجهد (ج) بالفلط	شدة التيار (ت) بالأمبير
١	٢	٠,٢٥
٢	٤	٠,٥١
٣	٦	٠,٧٥
٤	٨	١,٠٠
٥	١٠	١,٢٥
٦	١٢	١,٥٠



شكل ٣٣ : ترتيبية رسم دائرة لتحديد الخصائص المميزة - شدة التيار / الجهد :

- ١ - بطارية بست خلايا ، جهد كل منهما ٢ فلت .
- ٢ - مفتاح خلايا كهربائي (مفتاح منظم كهربائي) .
- ٣ - فلطمتر .
- ٤ - أمبير .
- ٥ - مصباح ١٢ فلت .

الخاصية الأولى التي يمكن استنتاجها من القياسات السابقة هي : تزداد شدة التيار بازدياد الجهد .

ويمكن استنتاج خاصية أخرى من قسمة الجهد على شدة التيار ت وهي :

مسلسل	١	٢	٣	٤	٥	٦
خارج القسمة $\frac{ج}{ت}$	٨	٧,٨	٨	٨	٨	٨

وعلى ذلك تكون قيم خارج القسمة $\frac{ج}{ت}$ متساوية في جميع الحالات . ($\frac{ج}{ت}$ ثابت) .

ومنه نحصل على النتيجة التالية :

تزيد أو تنقص كل من شدة التيار والجهد بنفس النسبة ، أي أنهما يتناسبان تناسباً طردياً ج α ت . وتوضح هذه العلاقة برسم منحنى بياني بين شدة التيار والجهد (الشكل ٣٤) . فتكون العلاقة بينهما عبارة عن خط مستقيم ويمر بنقطة الأصل (دالة خطية) .

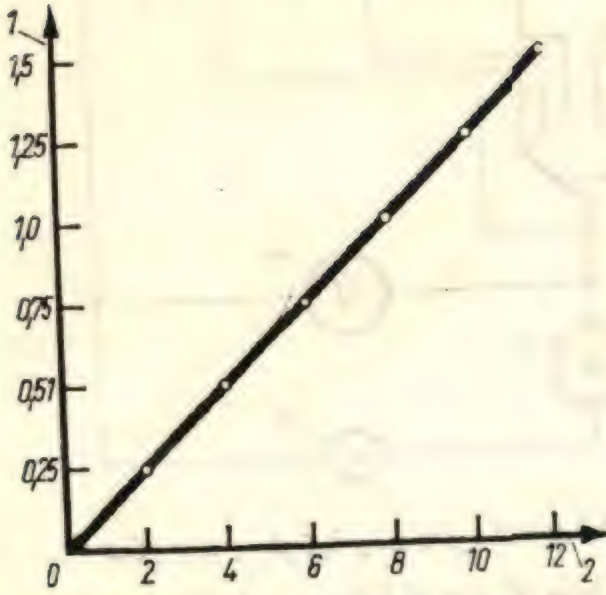
٢/٥ - الخصائص المميزة لشدة التيار / المقاومة :

وبين الشكل (٣٥) مثلاً لرسم الدائرة لترتيبة تستخدم لتحديد العلاقة بين شدة التيار والمقاومة.

شكل ٣٤ : منحنى التيار والجهد :

١ - التيار (بالأمبير) .

٢ - الجهد (بالفولط)



شكل ٣٥ :

ترتيبة لتحديد الخصائص المميزة لشدة التيار والمقاومة .

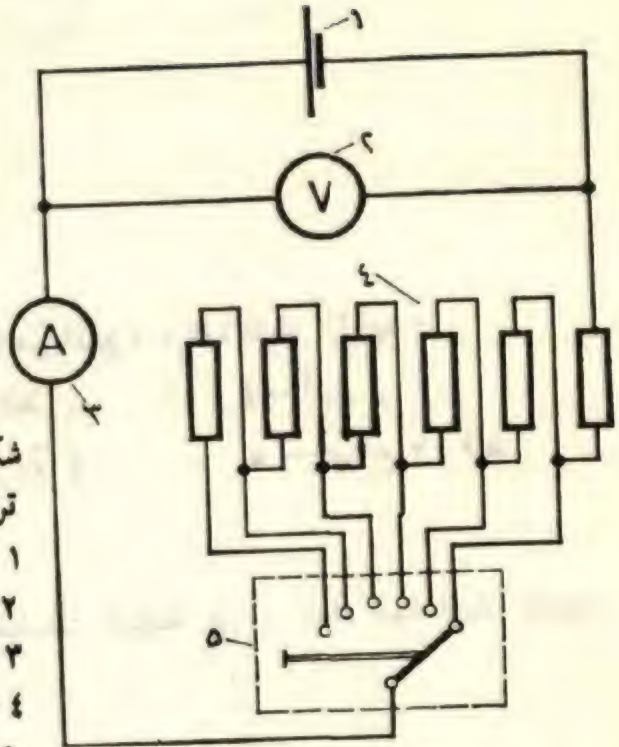
١ - مصدر للجهد ٢٤ فولط .

٢ - فلوطنتر .

٣ - أميتر .

٤ - ترتيبة بست مقاومات قيمة كل منها ٨ أوم .

٥ - مفتاح انتقاء كهربائى .



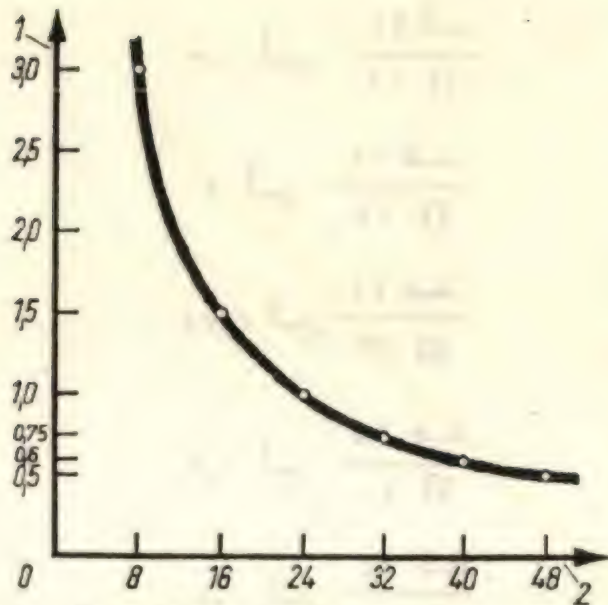
وتتكون هذه الترتيبة من مصدر للجهد يعطى ٢٤ فولط ، وفلوطنتر (ويستخدم فقط للتأكد من ثبات جهد المصدر على ٢٤ فولط ، طول فترة التجربة) ، وأميتر ، وترتيبة من ست مقاومات ، مقاومة كل منها ٨ أوم . وتوصل هذه المقاومات بمفتاح إنتقاء كهربائى ، للحصول مقاومات فى الدائرة : ٨ Ω ، ١٦ Ω ، ٢٤ Ω ، ٣٢ Ω ، ٤٠ Ω أو ٤٨ Ω حسب وضع المفتاح . وتؤخذ ست قراءات ، وتسجل شدة التيار لكل قيمة من المقاومات السابقة كما يلى :

رقم القراءة	المقاومة (م) بالأوم	شدة التيار (ت) بالأمبير
١	٨	٣
٢	١٦	١,٥
٣	٢٤	١,٠
٤	٣٢	٠,٧٥
٥	٤٠	٠,٦
٦	٤٨	٠,٥

الخاصية الأولى التى يمكن استنتاجها من القياسات السابقة هى :

تنخفض شدة التيار بازدياد المقاومة .

ويمكن استنتاج خاصية أخرى من المنحنى البيانى لشدة التيار والمقاومة (الشكل ٣٦) كما يلى :



شكل ٣٦ : منحى شدة التيار والمقاومة :

١ - التيار بالأمبير .

٢ - المقاومة بالأوم .

تتناسب شدة التيار والمقاومة تناسباً عكسياً ، إذا كان الجهد ثابتاً (ج = ثابت)

$$I \propto \frac{1}{R}$$

٣/٥ - تفسير قانون أوم :

تستنتج الصيغة التالية من الخاصيتين السابقتين وهما :

$$I \propto V$$

(تتناسب شدة التيار والجهد تناسباً طردياً)

$$I \propto \frac{1}{R}$$

(تتناسب شدة التيار ومقلوب المقاومة تناسباً طردياً)

$$I \propto V$$

$$I \propto \frac{1}{R}$$

$$I \propto \frac{V}{R}$$

ينتج أن

وبما سبق نحصل على الآتى :

شدة التيار والمقاومة

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{أمبير} \quad \frac{24 \text{ فلت}}{8 \Omega}$$

شدة التيار والجهد

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{أمبير} \quad \frac{2 \text{ فلت}}{8 \text{ فلت/أمبير}}$$

$$\frac{24 \text{ فلط}}{\Omega 16} \text{ أمبير } 1,5$$

$$\frac{24 \text{ فلط}}{\Omega 24} \text{ أمبير } 1$$

$$\frac{24 \text{ فلط}}{\Omega 32} \text{ أمبير } 0,75$$

$$\frac{24 \text{ فلط}}{\Omega 40} \text{ أمبير } 0,6$$

$$\frac{24 \text{ فلط}}{\Omega 48} \text{ أمبير } 0,5$$

$$\frac{4 \text{ فلط}}{7,8 \text{ فلط/أمبير}} \alpha \text{ أمبير } 0,5$$

$$\frac{6 \text{ فلط}}{8 \text{ فلط/أمبير}} \alpha \text{ أمبير } 0,75$$

$$\frac{8 \text{ فلط}}{8 \text{ فلط/أمبير}} \alpha \text{ أمبير } 1,00$$

$$\frac{10 \text{ فلط}}{8 \text{ فلط/أمبير}} \alpha \text{ أمبير } 1,25$$

$$\frac{12 \text{ فلط}}{8 \text{ فلط/أمبير}} \alpha \text{ أمبير } 1,50$$

وعلى أساس هذه المقارنات للقيم العددية يمكن استنتاج الآتي :

١ - يعنى التعبير $\frac{\text{فلط}}{\text{أمبير}}$ التعبير Ω تماماً

٢ - تعطى قيمة شدة التيار في جميع الحالات باستخدام خوارج القسمة كما يلي :

$$\text{من } \frac{2}{8} = 0,25 \quad \text{وفلط} \times \frac{\text{أمبير}}{\text{فلط}} = \text{أمبير}$$

$$\text{نتج } 0,25 \text{ أمبير}$$

$$\text{ومن } \frac{24}{8} = 3 \quad \text{فلط} \times \frac{\text{أمبير}}{\text{فلط}} = \text{أمبير}$$

$$\text{ينتج } 3 \text{ أمبير}$$

وحيث أن خارج قسمة $\frac{ج}{م}$ في جميع الحالات يسوى قيمة ت (شدة التيار) ،

نحصل على الآتي :

$$\frac{ج}{م} = \text{ت}$$

$$\frac{\text{الجهود}}{\text{المقاومة}} = \text{شدة التيار}$$

وقد قام جورج سيمون أوم (١٧٨٩ - ١٨٥٤) بتحقيق هذه الصيغة الأساسية ، وتعرف باسم « قانون أوم » .

وفي حالة معرفة أى كيتين يمكن تحديد الكية الثالثة بواسطة هذا القانون .

وعندما نرغب فى وضع الكية المطلوب تحديدها على يمين الصيغة ، تجرى هذه العمليات الرياضية :

$$(١) \quad ت = \frac{ج}{م} \quad , \quad ج \text{ هى المطلوب نقلها إلى يمين الصيغة بتبديل طرفى الصيغة}$$

$$ت = \frac{ج}{م} \quad \text{كل مكان الآخر .}$$

$$\frac{ج}{م} \times م = ت \times م \quad \text{بضرب كل من الطرفين فى م}$$

$$ج = ت \times م \quad \text{بحذف م من الطرف الأيمن}$$

وعليه :

$$ج = ت \times م \quad \text{الجهد = شدة التيار } \times \text{ المقاومة .}$$

$$(٢) \quad ج = ت \times م \quad \text{ومطلوب نقل م إلى الطرف الأيمن من الصيغة .}$$

$$\text{ينتج أن } ت = \frac{ج}{م} \quad \text{بتبديل الطرفين كل مكان الآخر .}$$

$$\frac{ت \times م}{ت} = \frac{ج}{ت} \quad \text{بقسمة كل من الطرفين على ت}$$

$$م = \frac{ج}{ت} \quad \text{بحذف ت من الطرف الأيمن .}$$

$$م = \frac{ج}{ت} \quad \text{المقاومة = } \frac{\text{الجهد}}{\text{شدة التيار}}$$

ويمكن أيضا وضع م فى الطرف الأيمن من الصيغة المستعملة فى (١)

$$ت = \frac{ج}{م} \quad , \quad ت = \frac{ج}{م} \quad , \quad \frac{ت}{ج} = \frac{ج}{م \times ج}$$

$$\frac{ت}{ج} = \frac{١}{م} \quad \text{وينتج أن } م = \frac{ج}{ت}$$

ويقتصر استخدام قانون أوم فى الهندسة الكهربائية . والدقة فى التعبير ، يطبق هذا القانون على الموصلات المعدنية فى نطاق مدى معين لدرجة الحرارة . وسوف نتعرض لهذا الموضوع ونناقش القوانين المشتقة من قانون أوم فيما بعد .

ولزيادة الإيضاح ، نعيد هنا كتابة الثلاث صيغ السابق مناقشتها :

$$\frac{\text{الجهد ج}}{\text{المقاومة م}} = \text{شدة التيار ت}$$

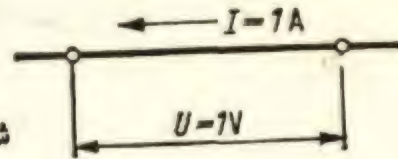
$$\text{الجهد ج} = \text{شدة التيار ت} \times \text{المقاومة م}$$

$$\frac{\text{ج}}{\text{ت}} = \frac{\text{الجهد}}{\text{شدة التيار}} = \text{المقاومة م}$$

(١) تعريف وحدة المقاومة :

أمكن استنتاج أن خارج قسمة الجهد على شدة التيار $\frac{\text{ج}}{\text{ت}}$ = مقدار ثابت ، وذلك من

الخصائص المميزة لشدة التيار والجهد ، وكذلك أوضح لنا قانون أوم أن $\frac{\text{ج}}{\text{ت}} = \text{م}$ ، ونستخلص من ذلك أنه : عندما يمر تيار شدته أمبير واحد عند جهد قدره فلف واحد ، تكون قيمة المقاومة مساوية أوم واحد (١ Ω) ، ويساعد الشكل (٣٧) في تفهم التعريف الصحيح لوحدة المقاومة .



شكل ٣٧ : شرح وحدة المقاومة :

الأوم الواحد : هو المقاومة الكهربائية بين نقطتين على موصل معدني درجة حرارته منتظمة ، ويسرى به مؤقتا تيار كهربائي ثابت قيمة شدته أمبير واحد ، عندما يكون هناك جهد قيمته فلف واحد بين هاتين النقطتين .

٤/٥ - حسابات الدائرة الكهربائية الأساسية :

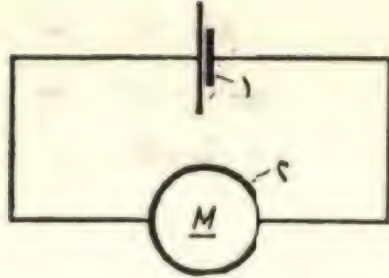
تعرف الدائرة الكهربائية الأساسية بأنها دائرة بسيطة تتكون أساسا من مصدر للجهد ، وجهاز يعمل بالكهرباء . كما تعرف أيضا بالدوائر البسيطة التي تشتمل بالإضافة إلى ذلك على مصاهر ومفاتيح كهربائية توضع في مسار التيار الكهربائي ، وفيما يلي بضعة أمثلة لحسابات مبنية على قانون أوم فيما يختص بالدائرة الكهربائية الأساسية :

مثال :

محرك كهربائي دمية (الشكل ٣٨) قيمة مقاومته م ٢٦,٧ Ω ولا يتعدى مقنن شدة تياره ٠,٤٥ أمبير . فا الجهد المطلوب تسليطه على المحرك أثناء تشغيله ؟

المعطيات : $\Omega \ 26,7 = م$
 $ت = 0,45$ أمبير

المطلوب : الجهد ج



شكل ٣٨ : دائرة أساسية تشتمل على :

- ١ - مصدر جهد .
- ٢ - محرك كهربائي دمية .

الحل :

$$ج = ت \times م$$

$$ج = 26,7 \times 0,45$$

$$ج = 12,015 \text{ فلت}$$

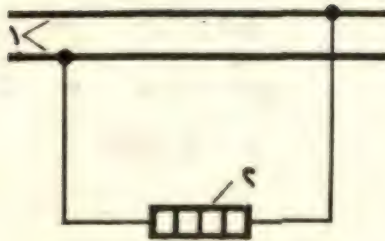
قيمة الجهد المطلوب تسليطه على المحرك الدمية أثناء تشغيله ١٢ فلت .

مثال :

مسخن غاطس (الشكل ٣٩) مقاومته 75Ω ، وندة التيار المسموح بها $2,75$ أمبير .
 فا الجهد الذي يمكن تشغيل المسخن عليه ؟

المعطيات : $\Omega \ 75 = م$
 $ت = 2,75$ أمبير

المطلوب : الجهد ج



شكل ٣٩ : دائرة أساسية تشتمل على :

- ١ - مصدر جهد (مأخذ رئيسي) .
- ٢ - مسخن (مسخن غاطس في هذه الحالة) .

الحل :

$$ج = ت \times م$$

$$ج = 75 \times 2,75$$

$$ج = 216,25 \text{ فلت}$$

يمكن تشغيل المسخن الفاطس من مأخذ رئيسي جهده ٢٢٠ فلت .

مثال :

الجهد عبر متابع عدة تليفون ٢٤ فلت (الشكل ٤٠) . وبقياس شدة التيار وجدت ٠,٠٣ أمبير .
فما مقاومة هذا المتابع ؟

المعطيات : ج = ٢٤ فلت

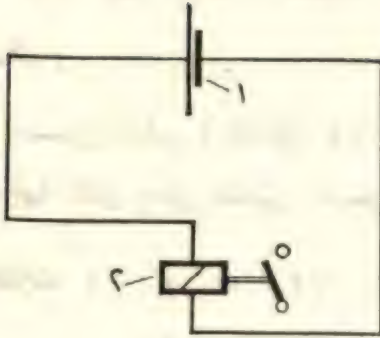
= ٠,٠٣ أمبير

المطلوب إيجاداه : المقاومة م

الحل :

$$م = \frac{ج}{ت} = م = \frac{٢٤}{٠,٠٣} = ٨٠٠ \Omega$$

تكون مقاومة المتابع ٨٠٠ Ω



شكل ٤٠ : دائرة أساسية تشتمل على :

١ - مصدر للجهد .

٢ - متابع .

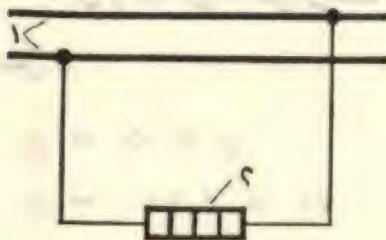
مثال :

مسخن موصل بمأخذ رئيسي جهده ١١٠ فلت (الشكل ٤١) والتيار (ت) المار بالمسخن شدته ١٨,٥ أمبير . فاقية مقاومة المسخن م ؟

المعطيات : ج = ١١٠ فلت

ت = ١٨,٥ أمبير

المطلوب : المقاومة م



شكل ٤١ : دائرة أساسية تشتمل على :

١ - مأخذ رئيسي (مصدر للجهد) .

٢ - مسخن (فرن تجفيف في هذه الحالة) .

الحل

$$م = \frac{ج}{ت} = م ، \frac{110}{18,5} = م ، م = 5,94 \Omega$$

تكون قيمة مقاومة المسخن $م = 5,94 \Omega$

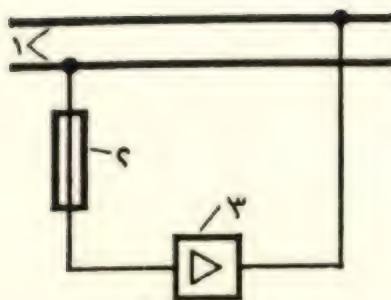
مثال :

هل يكتفى مصدر مقننه أمبير واحد ، للاستخدام في مكبر ، موصل على مصدر للجهد ج ٢٢٠ فلت . ومقاومته $م = 280 \Omega$ (الشكل ٤٢) ؟

المعطيات : ج = ٢٢٠ فلت

م = ٢٨٠ أوم

المطلوب : شدة التيار



شكل ٤٢ : دائرة أساسية تشتمل على :

١ - مأخذ رئيسي (مصدر للجهد) .

٢ - مصدر .

٣ - مكبر .

الحل :

$$ت = \frac{ج}{م} = ت ، \frac{220}{280} = ت ، ت = 0,8 \text{ أمبير}$$

شدة التيار بالتقريب هي ٠,٨ أمبير .

لذا يكتفى له مصدر مقننه أمبير واحد .

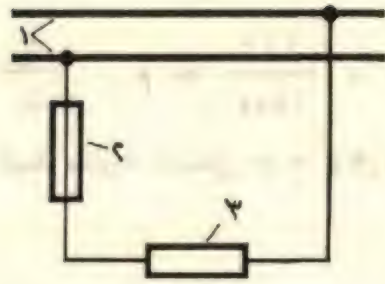
مثال :

تركيبات كهربائية تعمل على جهد تشغيل قدره ٢٢٠ فلت ، ومقاومتها $2,31 \Omega$.
فا شدة التيار التي يتحملها المصدر اللازم لوقاية هذه التركيبات ؟

المعطيات : ج = ٢٢٠ فلت

م = $2,31 \Omega$

المطلوب : شدة التيار



شكل ٣ : دائرة أساسية تشتمل على :

١ - مأخذ رئيسي (مصدر للجهد) .

٢ - مصهر .

٣ - مقاوم .

الحل :

$$ت = \frac{ج}{م} ، ت = \frac{٢٢٠}{٢,٣١} ، ت = ٩,٥٢ \text{ أمبير}$$

يتحمل المصهر تيارا كهربائيا شدته ١٠ أمبير لوقاية هذه التركيبات .



الفصل السادس

مواد الموصلات - ومواد المقاومات - والمواد العازلة

يطلق على المواد التي توصل التيار الكهربائي ، بصفة عامة ، موصلات - على حين يطلق على المواد التي لا توصل لتيار الكهربائي ، عند درجة حرارة محيطتها قدرها 20°C ، مواد غير موصلة أو عوازل . وعادة تصنف المواد طبقا للموصلية الكهربائية على الوجه التالي :

موصل - شبه موصل - غير موصل ، أو مواد موصلات - مواد مقاومات - مواد عازلة .

ويبين كل من هذين التصنيفين قصورا في المعنى المقصود منه ، وبالأخذ في الاعتبار لما يهدف إليه هذا الكتاب ، نجد أن التصنيف الأخير هو المفيد ، وذلك بالرغم من أنه لا يشمل على المجموعة الأكثر أهمية من الناحية الفنية ، والتي تدعو للاهتمام في النيزياء الكهربائية ، وهي مجموعة « شبه الموصلات » . وعلى كل فإننا سوف نتناول مجموعة شبه الموصلات ضمن موضوعات أخرى وهي المقومات الترانزستور .

ويبنى تصنيف المواد إلى مواد موصلات ومواد مقاومات ومواد عازلة ، على الاستخدام المطلوب لها في الهندسة الكهربائية . وتعتبر ببساطة مواد الموصلات ومواد المقاومات من الناحية الفيزيائية الكهربائية ، موصلات ، بينما تعتبر المواد العازلة غير موصلات .

وتستخدم المعادن وسبائكها كمواد موصلات أو مواد مقاومات . ويستخدم الكربون كذلك وخاصة بعض أشكاله المعدلة مثل الجرافيت كمواد مقاومات .

وفيما يلي مناقشة الفروق بين مواد الموصلات ومواد المقومات والمواد العازلة ، مع أخذ تصرفها كهربائيا في الاعتبار .

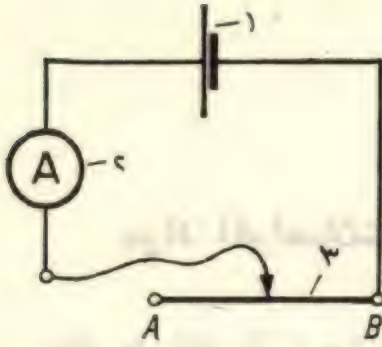
٦-١ - العلاقة بين المقاومة (م) والطول (ل) ومساحة القطع المستعرض (ج) للموصل :

(أ) العلاقة بين مقاومة موصل وطوله :

يمكن تحديد العلاقة بين مقاومة موصل وطوله بسهولة ، وذلك بمساعدة ترتيبية الاختبار الموضح رسم دائرتها بالشكل (٤٤) . وينصح باستخدام سلك مقاومة طوله متر واحد ، من ملف تسخين كهربائي .

ويوصل السلك المقاوم بين نقطتي أ ، ب (الشكل ٤٤) وتشغل الترتيبة .

شكل ٤٤ : رسم الدائرة لترقيبة اختبار لتمثيل العلاقة بين مقاومة موصل (م) وطوله (ل) .



١ - مصدر للجهد (حوالى ٢ فلت) .

٢ - أميتر (يقيس حوالى ٣ أمبير) .

٣ - سلك مقاوم طوله متر واحد .

وبين الأميتر قيمة تطلق عليها هنا (س) ، وعلى هذا تكون :

القيمة المبينة	س
طول سلك المقاومة	١ متر

ثم يجرى التوصيل بين الأميتر ونقطة في منتصف سلك المقاومة أ ب - نجد أن قراءة الأميتر تصبح ضعف القيمة السابقة .
وعلى هذا تكون :

القيمة المبينة	س
طول سلك المقاومة	$\frac{1}{2}$ متر

وبتكرار هذه العملية ينتج ما يلى :

القيمة المبينة	س
طول سلك المقاومة	$\frac{1}{4}$ متر

ويتضح عمليا أن هناك علاقة بين القيمة المبينة وطول سلك المقاومة . وعلى هذا يمكن التوصيل إلى النتيجة التالية :

١ - تزداد المقاومة كهربائية (م) بزيادة طول الموصل (ل) .

٢ - تتناسب قيمة المقاومة الكهربائية (م) تناسباً طردياً مع طول الموصل .

$$م \propto ل$$

(ب) العلاقة بين مقاومة موصل ومساحة مقطعه المستعرض :

يمكن بسهولة توضيح العلاقة بين مقاومة موصل ومساحة مقطعه المستعرض ، وذلك بمساعدة

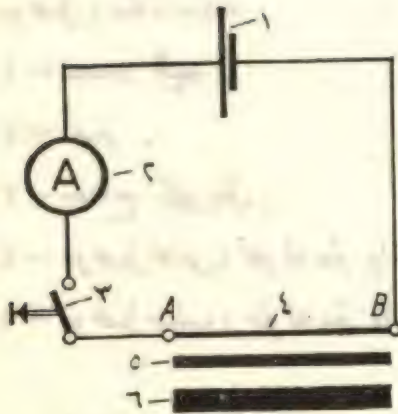
ترتيبية الاختبار الموضحة بالشكل (٤٥) . ويوصى هنا باستخدام ثلاثة موصلات من نفس المادة

ومساحة مقطعها المستعرض ١ مم^٢ ، ٢ مم^٢ ، ٤ مم^٢ ، ولها نفس الأطوال .

وبتسجيل قراءة الميّن عندما نوصل أى من هذه الموصلات الثلاثة فى الدائرة ، نحصل على النتيجة التالية :

القيمة الميّنة	مساحة المقطع المستعرض للموصل
س	١ مم ^٢
٢ س	٢ مم ^٢
٤ س	٤ مم ^٢

شكل ٤٥ : رسم الدائرة لترتيبة اختبار لتمثيل العلاقة بين مقاومة موصل (م) ومساحة مقطعه المستعرض (ج) .



١ - مصدر للجهد .

٢ - أميتر .

٣ - مفتاح كهربائى .

٤ - موصل طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ١ مم^٢ .

٥ - موصل طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ٢ مم^٢ .

٦ - موصل طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ٤ مم^٢ .

فستنتج ما يلى :

١ - تقل المقاومة الكهربائية لموصل بزيادة مساحة مقطعه المستعرض (وعلى ذلك يسمح بمرور تيار كهربائى شدته أعلى) .

٢ - تتناسب المقاومة الكهربائية (م) لموصل تناسباً عكسياً مع مساحة مقطعه المستعرض (ج) .

إدماج هاتين العلاقتين :

تتبعاً لقانون أوم يمكن استنتاج ما يلى :

$$\begin{aligned} \text{م} &\propto \text{ل} & \text{م} &\propto \frac{1}{\text{ج}} \\ \text{أى أن} & & \text{م} &\propto \frac{\text{ل}}{\text{ج}} \end{aligned}$$

وهذا يعنى أن المقاومة تتناسب تناسباً طردياً مع طول الموصل وعكسياً مع مساحة مقطعه المستعرض :

٢/٦ - المقاومة والمرصلية :

(١) المقاومة :

تبنى العلاقات السابقة على الأبعاد الهندسية (الطول ومساحة المقطع المستعرض) ، والمقاومات لموصلات من نفس النوع . وعلى ذلك يكون من المفروض ضمنا إيجاد العلاقة بين المقاومة الكهربائية (م) لموصل ، وبين مادته التي يصنع منها .

يمكن بسهولة توضيح العلاقة بين المقاومة الكهربائية ومادة صنعه ، بمساعدة ترتيبية الاختبار المبينة بالشكل (٤٦) . ويوصى باستخدام موصلين لهما نفس الأبعاد ، ولكن من مادتين مختلفتين .

شكل ٤٦ : رسم الدائرة لترتيبة اختبار لتمثيل العلاقة بين مقاومة

موصل ومادة صنعه .

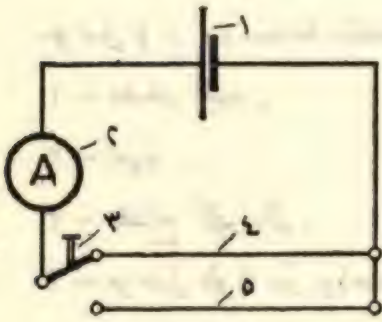
١ - مصدر للجهد .

٢ - أميتر .

٣ - مفتاح كهربائي .

٤ - موصل نحاس : طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ١ مم^٢

٥ - موصل صلب : طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ١ مم^٢



نستنتج من هذا الاختبار ما يلي :

١ - تكون شدة التيار في حالة إدخال موصل نحاس في الدائرة مساوية ٨ مرات شدة التيار التي تمر في موصل صلب له نفس الأبعاد عندما يوضع في نفس الدائرة .

٢ - تختلف شدة التيار التي تمر في الموصلات باختلاف مواد صنعها ، إذا أدخلت هذه الموصلات في نفس الدائرة ، وكانت أبعادها واحدة .

لكل مادة مقاومتها الكهربائية الخاصة بنوعها ، وتسمى « المقاومة النوعية للمادة » .

تسمى الخاصية التي تربط بين المقاومة النوعية لمادة وأبعادها $l = ١$ متر ، $j = ١$ مم^٢ ،

« بمقاومة المادة » وإذا رمزنا للمقاومة بالرمز ρ (رو) ، نجد أن المقاومة (م) تتناسب تناسبا طرديا مع المقاومة .

$$\rho \propto M$$

قانون المقاومة :

$$\text{تدمج} \quad \text{العلاقتان} \quad M \propto \frac{l}{j}$$

$$\rho \propto M$$

لنحصل على قانون المقاومة :

$$\frac{L \times \rho}{ج} = م$$

ويعنى هذا القانون أن المقاومة الكهربائية لأى موصل ، تعتمد على مقاومة مادة صنعه وطوله ومساحة مقطعه المستعرض .

ولتحديد قيمة المقاومة لأى موصل ، تحل المعادلة = م $\frac{L \times \rho}{ج}$ لإيجاد ρ

$$\frac{L \times \rho}{ج} = م \quad \text{بتعديل طرفى للمعادلة}$$

$$م = \frac{L \times \rho}{ج}$$

$$\frac{ج}{ل} \times م = \frac{ج}{ل} \times \frac{L \times \rho}{ج}$$

بالاختصار فى الطرف الأيمن ينتج :

$$\frac{ج}{ل} \times م = \rho \quad \text{ل (بالمتر) ، ج (بالمليمتر المربع) .}$$

وعندما تكون م بالأوم (Ω) ، ل (بالمتر) ، ج (بالمليمتر المربع) نحصل على

$$\frac{\Omega م^2}{م} \quad \text{وحدة } \rho \text{ بهذا الشكل}$$

(ب) الموصلية :

فى حالات متعددة ، لا يكون قانون المقاومة بصيغته السابقة ملائماً للعمليات الرياضية التى تتطلبها حسابات أطوال الموصلات ومساحات مقاطعها المستعرضة ومقاوماتها الكهربائية أو مقاوماتها النوعية .

ويفضل عادة استخدام مقلوب قيمة المقاومة $\frac{1}{\rho}$ ، ويطلق عليه « الموصلية » ويرمز

لها بالرمز χ (كابا) .

$$\frac{1}{\rho} = \chi \quad \text{وعلى ذلك تكون الموصلية}$$

وتبعاً لذلك تحسب المقاومة لأي موصل على أساس :

$$\frac{L}{\gamma} \times \frac{1}{\chi} = \rho \quad \text{أو} \quad \frac{L \times \rho}{\gamma} = \rho$$

مثال :

مطلوب عمل ملف مقاومته $\Omega \ 200$. وإذا استخدم سلك من النحاس المعزول مساحة مقطعه المستعرض $\gamma = 0.02 \text{ مم}^2$ وموصليته $\chi = 56$ ، احسب طول السلك المطلوب لهذا الملف بالأمتار .

المعطيات :

$$\Omega \ 200 = \rho$$

$$\gamma = 0.02 \text{ مم}^2$$

$$\chi = 56 = \frac{\rho}{\gamma}$$

المطلوب : الطول L بالأمتار

الحل :

من المعادلة :

$$\frac{L}{\gamma} = \rho$$

$$\text{بتبديل طرفي المعادلة} \quad \rho = \frac{L}{\gamma}$$

$$\gamma \times \rho = L$$

بضرب كل من الطرفين في χ جـ

وبالاختصار في الطرف الأيمن ينتج أن :

$$\gamma \times \chi \times \rho = L$$

بالتعويض في المعادلة الأخيرة

$$0.02 \times 56 \times 200 = L$$

$$L = 224 \text{ متر}$$

طول السلك المطلوب هو ٢٢٤ متر .

٣/٦ - مواد الموصلات :

(١) مواد الموصلات وقيم مقاومتها :

اتضح لنا من الشرح السابق أن المقاومة النوعية لمواد الموصلات أقل من المقاومة النوعية للمقاومات أو المواد العازلة . علاوة على أن هناك عدة عوامل يجب أخذها في الاعتبار عند اختبار المادة التي يصنع منها الموصل ، وهى متانته ، ومقاومته للتأثيرات الخارجية ، وإمكانية تصنيعه . ويوضح الجدول التالى مواد الموصلات الأكثر شيوعا للاستخدام فى الهندسة الكهربائية :

مادة الموصل	المقاومية ρ	$\frac{\Omega \cdot \text{م}^2}{\text{م}}$	الموصلية χ	$\frac{\Omega}{\text{م}^2}$
فضة	٠,٠١٦٥		٦١	
نحاس أحمر	٠,٠١٧٨		٥٦	
ألومنيوم	٠,٠٢٨٧		٣٥	
برونز	٠,٠١٨	إلى ٠,٠٥٦	٥٥ إلى ١٨	
سبيكة الدرى	٠,٠٣٣		٣٠	
صلب	٠,١٠	إلى ٠,١٥	١٠ إلى ٦,٦	
رصاص	٠,٢١		٤,٨	

وهذه القيم محسوبة عند درجة حرارة محيطتها قدرها ٢٠°م ، ويلاحظ أن القيم المذكورة للموصلية والمقاومية ليست ثابتة بدرجة مطلقة ، حيث أنها تعتمد على النسبة المئوية لنقاء مادة الموصل .

(ب) وصف موجز لمواد الموصلات :

الفضة : ولها أعلى موصلية ولكنها لا تستخدم كمادة موصلات فى تركيبات القوى الكهربائية والتنذية ، وذلك نظرا لارتفاع سعرها وقلة متانتها الميكانيكية . ومع ذلك فقد تستخدم الفضة كعنصر صهر أو ملامسة فى مجموعة مفاتيح التشغيل الميكانيكية الكهربائية .

النحاس : ويعتبر المادة التقليدية للموصلات . وله كل الخواص الكهربائية والميكانيكية اللازمة للاستخدام فى الهندسة الكهربائية ، لذا أصبح النحاس مادة الموصلات المفضلة . ومنذ حوالى ٢٠ عاما ، بدأ الألومنيوم يحل محل النحاس تدريجيا فى خطوط نقل وتوزيع القدرة الكهربائية .

الألومنيوم : وقد أصبح مادة هامة للهندسة الكهربائية بعد تطوير العمليات الاقتصادية لإنتاجه ، إلى جانب خفة وزنه بالنسبة للنحاس . فثلا ، يساوى وزن خط التوصيل الألومنيوم نصف وزن الخط النحاسى المساوى له فى المقاومة الكهربائية بالرغم من أن مساحة المقطع المستعرض لخط الألومنيوم تكون أكبر . وبفضل استخدامه فى تكوين المكثات الكهربائية وأنظمة نقل القدرة الكهربائية .

البرونز : وهو سبيكة من النحاس . ولإنتاج موصلات مصنوعة منه ، يضاف إلى النحاس ما قيمته ٣ فى المائة من مكونات تشتمل على القصدير ، المغنسيوم ، الزنك ، السليكون والبوتاس والفوسفور .

وتستخدم الموصلات البرونز فى الأماكن التى تتعرض للتآكل الكثيف الناتج عن إجهادات ميكانيكية ، مثل خطوط الجسر الكهربائية (السكك الحديدية الكهربائية والترام والتrolley باس) وما شابههما ، والأجزاء الدوارة (المبدلات وحلقات الانزلاق) فى المكثات الكهربائية .

سبيكة الدوى : وهى سبيكة من الألومنيوم . ويتكون بإضافة كميات صغيرة من المغنسيوم والحديد والسليكون إلى الألومنيوم . ويؤدى هذا إلى تخفيض الموصلية من ١٠ إلى ١٥ فى المائة بمقارنتها مع الألومنيوم النقى ، ومع ذلك فهذا يؤدى إلى ازدياد مقاومة الشد بحوالى ٧٠ فى المائة .

الصلب : ويندر استخدامه على حدة كمادة موصلة . وتستخدم أسلاك الصلب أساسا لتزيد من متانة خطوط نقل القدرة للجهد العالى . ولهذا الغرض فإنها تجدل مع موصلات الألومنيوم . وتستخدم القضبان الصلب فى بعض حالات الجسر الكهربائى كوصل رجوع لتكملة الدائرة .

الرصاص : وغالبا ما يستخدم كمادة موصلة فى المراكم التى تحتوى على أحماض (البطاريات) وتصنع أطراف توصيلها وموصلات خلاياها الداخلية من الرصاص (وذلك نظرا لمقاومته للأحماض) ويستخدم الرصاص كوصل تأريض فى الكبلات ذات أغلفة الرصاص .

٤/٦ - مواد المقاومة :

(١) قيمتها ووصف موجز لها :

تستخدم مواد المقاومة فى صناعة المقاومات . ويبين الجدول التالى بضع مواد مقاومة من الشائعة الاستخدام .

الموصلية	المقاومية ρ	مادة المقاومة
$\frac{\rho}{\Omega \text{ مم}^2}$	$\frac{\Omega \text{ مم}^2}{\rho}$	
٢,٣	٠,٤٣	نيكولايت (ذرنجبيد النيكل)
٢,٣	٠,٤٣	مانجنين
٢,٠	٠,٥٠	كونستنتان
٠,٩١	١,١	نيكل كروم
٠,٠٣٣	٣٠	مقاومات كربونية

وبوجه عام ، يميز بين مواد المقاومة المعدنية ومواد المقاومة الخزفية . وتشتمل الأخيرة عادة على الأنواع الكربونية بالرغم من أنه يستخدم فيها جسم يكون عادة على شكل أنبوبة خزفية لحمل طبقة الكربون التي تكون مادة المقاومة .

تكون مواد المقاومة المعدنية الأكثر شيوعا في الاستخدام عبارة عن سبائك وهي :

النيكولايت : ويتكون من ٥٤ في المائة نحاس أحمر و ٢٦ في المائة نيكل و ٢٠ في المائة زنك .

المانجنين : ويتكون من ٨٦ في المائة نحاس أحمر و ١٢ في المائة مانجنيز و ٢ في المائة نيكل .

الكونستنتان : ويتكون من ٥٨ في المائة نحاس أحمر و ٤١ في المائة نيكل و ١ في المائة مانجنيز .

النيكل كروم : ويتكون من ٧٨ في المائة نيكل و ٢٠ في المائة كروم و ٢ في المائة مانجنيز .

وتشكل هذه المواد على هيئة أشكال مستديرة أو مفلطحة وتعتبر مواد المقاومة هذه من المواد الأساسية في صناعة أجهزة التسخين الكهربائية وأنواع كثيرة من المقاومات .

وتعتمد مواد المقاومة الخزفية أساسا على السليكون ، وتكون عادة ، على شكل أنابيب أو قضبان ، وتستخدم في صناعة أجهزة التسخين الكهربائية كمقاومة تسخين .

(ب) أنواع المقاومات :

سنشرح هنا الأنواع المختلفة للمقاومة الأومية . ويطلق عليها هذه التسمية لتمييزها عن المقاومات الحثية والمقاومات السعوية . وتمثي هذه الأنواع من المقاومات مع قوانين دائرة التيار المستمر .

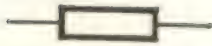
المقاومات الأومية ذات القيم غير المتغيرة :

يبين الشكل (٤٧) الرمز التخطيطي لمقاوم غير متغير .

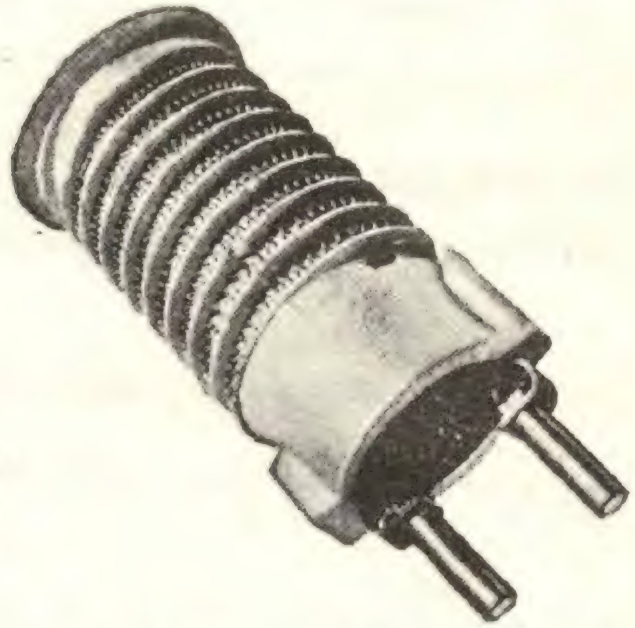
ويبين الشكل (٤٨) مثالا لمقاوم تسخين فتيلي في مسخن بشكل قطع مكافئ* .

ويبين الشكل (٤٩) مثالا لمقاوم تسخين فتيلي في مكواة كهربائية .

ويبين الشكل (٥٠) مثالا لمقاوم تسخين فتيلي لفرن تلدين (فرن تخمير) .



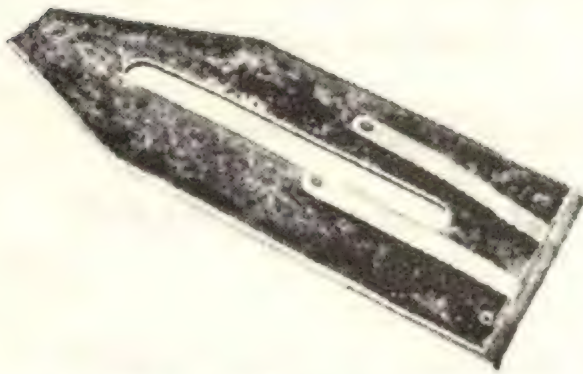
شكل ٤٧ : رمز تخطيطي لمقاوم غير متغير



شكل ٤٩ : مقاوم فتيل تسخين لمكواة

كهربائية VEB Elektroworme

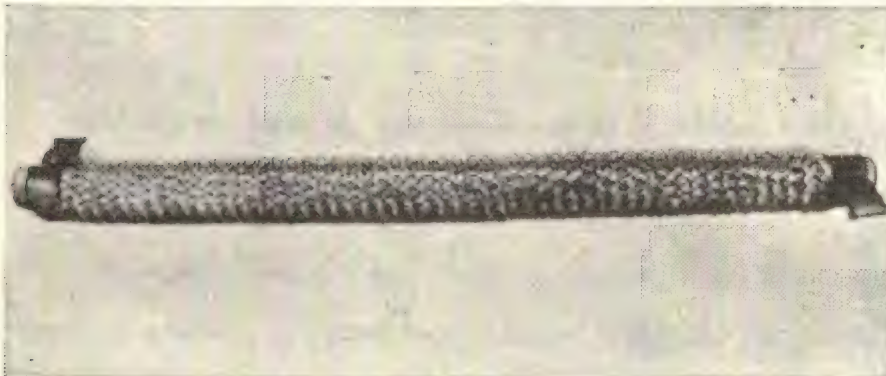
Sornewitz GDR



شكل ٤٨ : مسخن أو مقاوم فتيل تسخين

لمسخن بشكل قطع مكافئ* VEB

Elektroworme Sornewitz GDR



شكل ٥٠ : مقاوم فتيل

تسخين لفرن تلدين .

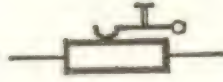
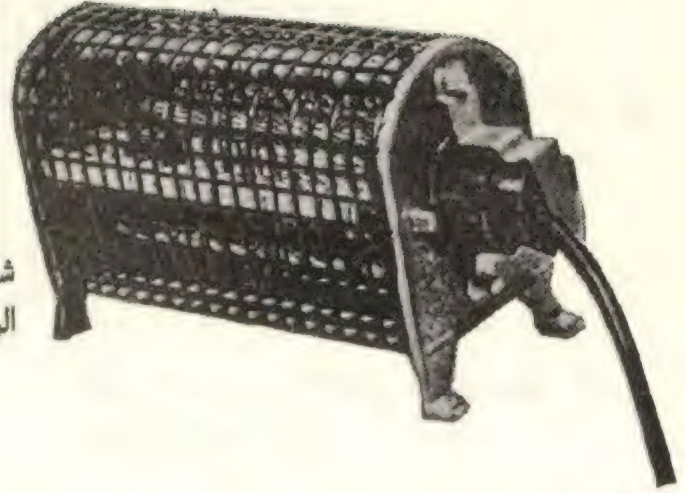
VEB

Elektroworme

Sornewitz GDR



شكل ٥٢ : مقاوم من النوع الكربوني هندسة الراديو والتليفزيون .



شكل ٥٢ : رمز تخطيطي لمقاوم متغير على خطوات :

شكل ٥١ : مقاوم توالى من السلك الملفوف لأجهزة العرض السينمائي .

ويمثل الشكل (٥١) رمزا تخطيطيا لمقاوم توالى من السلك الملفوف لأجهزة العرض السينمائي .
ويمثل الشكل (٥٢) رمزا تخطيطيا لمقاوم من النوع الكربوني هندسة الراديو والتليفزيون .

مقاومات متغيرة على خطوات :

يبين الشكل (٥٣) رمزا تخطيطيا لمقاوم متغير على خطوات ، ويبين الشكل (٥٤) رمزا تخطيطيا لمقاوم بدء دوران لمحرك كهربائي ، بينما التمثيل التخطيطي في الشكل (٥٥) لطريقة تشغيل مقاوم من هذا النوع ، تزداد أو تنخفض مقاومته المكافئة م على خطوات ، بواسطة مجموعة مفاتيح تشغيل .

مقاومات متغيرة لا نهائية :

يبين الشكل (٥٦) الرمز التخطيطي لمقاوم متغير لا نهائي يعطى مقاومة أومية .

و الشكل (٥٧) لمقاوم منزلق .

والشكل (٥٨) لمقاوم دوار من السلك الملفوف .

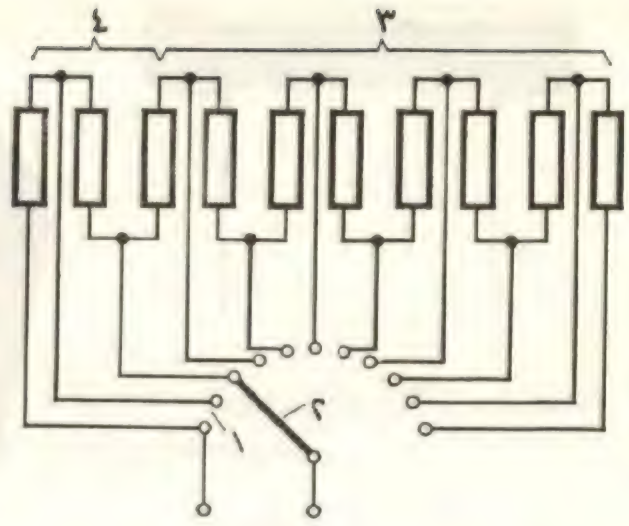
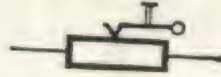
والشكل (٥٩) لمقاوم دوار من النوع الكربوني . ويطلق عادة على المقاوم الدوار مجزئ للجهـد (بوتنشيوتر) .



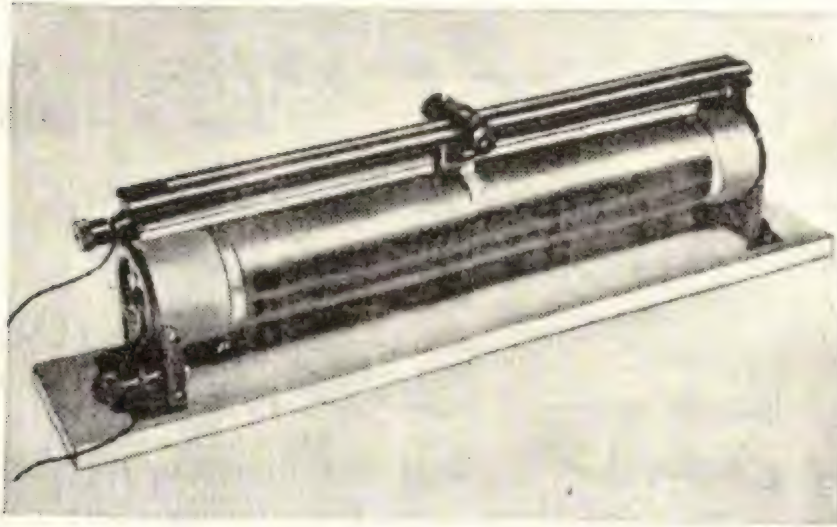
شكل ٥٤ : مقاوم بدء دوران محرك كهربائي :

شكل ٥٥ : تمثيل تخطيطي لمقاوم بدء دوران :

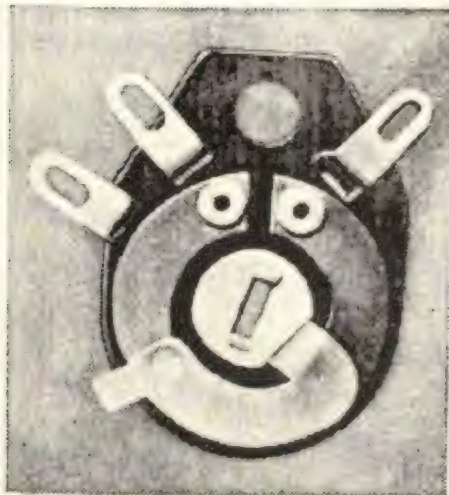
- ١ - ممر الملامسات .
- ٢ - ملامس منزلق .
- ٣ - هذا الجزء من المقاوم ليس له أى تأثير على الدائرة نتيجة لوضع التشغيل المين .
- ٤ - الجزء الفعال للمقاوم .



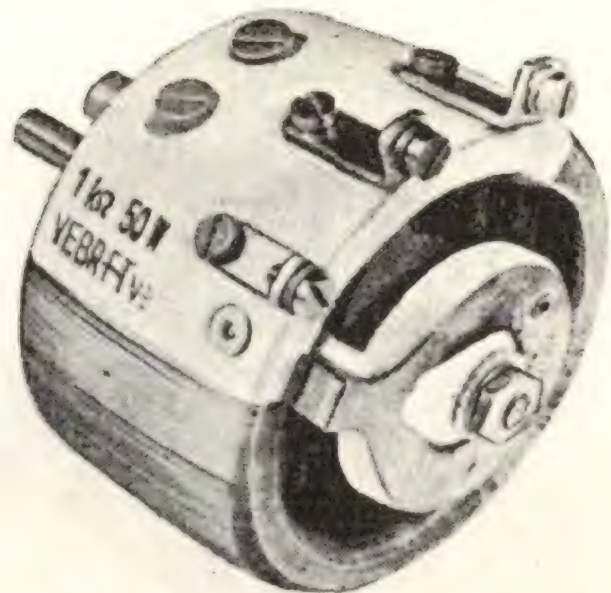
شكل ٥٦ : رمز تخطيطي لمقاوم متغير لانهاى يعطى معاومة أومية :



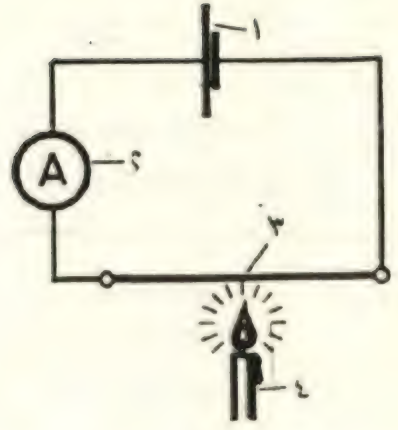
شكل ٥٧ :
مقاوم منزلق :



شكل ٥٩ : مقاوم دوار من النوع الكربوني :



شكل ٥٨ : مقاوم دوار من السلك الملفوف :
(VEB RET Berlin, GDR)



شكل ٦٠ : ترتيب اختبار لتمثيل تأثير درجة الحرارة :

- ١ - مصدر للجهد .
- ٢ - أميتر .
- ٣ - سلك صلب .
- ٤ - مصدر للحرارة لمب غاز .

(ج) تأثير درجة الحرارة على المقاومة :

كانت مناقشاتنا السابقة فيما يتعلق بالمقاومات مبنية على أساس أن درجة الحرارة المحيطة 20°C . ويمكن تحديد تأثير درجة الحرارة على المقاومات باستخدام ترتيب اختبار كما هو موضح بالشكل (٦٠) و بإجراء القياسات التالية :

- ١ - عندما يكون السلك المقاوم دافئاً .
 - ٢ - عندما يكون السلك المقاوم عند درجة حرارة مرتفعة .
 - ٣ - عندما يكون السلك المقاوم في حالة الاحمرار .
- نلاحظ أن المقاومة تزداد بازدياد درجة الحرارة .

وبإجراء اختبارات عديدة مماثلة ، نستخلص من النتائج التي نحصل عليها أن المقاومة تتغير بتغيير درجة الحرارة . وعموماً ، تزداد مقاومة المعادن النقية برفع درجة حرارتها ، على حين تنقص مقاومة بضع سبائك بارتفاع درجة الحرارة (ويطبق هذا أيضاً على السوائل الموصلة كهربائياً) .

المعامل الحرارى :

في حالات كثيرة يكون من المهم معرفة القيمة الحقيقية للمقاومة عند درجة حرارة معينة . (تخيل ، مثلاً ، أن مقاومات فتيل تسخين الصمامات الالكترونية تعتبر مقاومتها ، وبالتالي شدة تيارها ، ثابتة فقط بعد ارتفاع معين في درجة الحرارة . ويعبر عن المعامل الحرارى بتأثير درجات الحرارة على المقاومة) .

المعامل الحرارى هو ثابت يعبر عن التغيير الذى تتعرض له مقاومة معينة نتيجة لارتفاع درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة ، بالنسبة لدرجة حرارة مبدئية 20°C .

ويرمز للمعامل الحرارى بالرمز α (الفا) ، ووحدته $\frac{1}{^{\circ}\text{C}}$. ولأخذ درجة الحرارة

المبدئية في الاعتبار يكتب المعامل الحرارى بالطريقة التالية : α_{20}

ويبين الجدول التالي بضع معاملات للحرارة :

المادة	α بالدرجة المئوية	المادة	α بالدرجة المئوية
فضة	٠,٠٠٣٨	قصدير	٠,٠٠٤٢
نحاس	٠,٠٠٣٩٣	بلاتين	٠,٠٠٢٥
الومنيوم	٠,٠٠٣٧٧	رصاص	٠,٠٠٤٢
زنك	٠,٠٠٣٧	سبيكة الدري	٠,٠٠٣٦
نيكل	من ٠,٠٠٣٧ إلى ٠,٠٠٦	نحاس أصفر	٠,٠٠١٥
حديد	من ٠,٠٠٤٥ إلى ٠,٠٠٦	نيكولايت	٠,٠٠٢٣
		منجانيك	٠,٠٠٠٠١
		كونستانتان	٠,٠٠٠٠٣
		نيكل كروم	٠,٠٠٠١٠٠

وتبين الإشارة السالبة للمعامل الحرارى للكونستانتان أن مقاومته تقل بارتفاع درجة حرارته .

مثال :

تشتمل معدات معمل تجفيف على مقاومات من سلك نيكولايت ، تسخن أسلاك المقاومة إلى 110°C . فما هي المقاومة الكهربائية لها عند هذه الدرجة ، إذا كانت مقاومتها عند درجة الحرارة المحيطة $63\ \Omega$ (20°C) ؟

المعطيات :

$$63\ \Omega = 20^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{1}{\alpha} = 0,0001 = 10^{-4}$$

$$100^{\circ}\text{C} = \Theta$$

المطلوب : المقاومة عند درجة الحرارة النهائية (Θ) .

الحل :

فيما يلي تعليق على المعادلة المستخدمة في حل هذه المسألة ، وتصلح هذه الصيغة فقط حتى مدى لدرجات الحرارة يصل إلى 100°C . ويعطى تطبيقها درجة مرضية من الدقة ، وقد اختصرت المعادلة هنا إلى صيغة أساسية ، ويمكن إثبات ذلك بعدة عوامل رياضية معروفة .

يحدد أولا ، الفرق في درجة الحرارة ، $\Theta - 20^\circ \text{C}$. ثم يضرب في المعامل الحرارى لمادة المقاومة . ويضاف إلى ناتج الضرب واحد صحيح . ينتج المعامل الذى تضرب فيه المقاومة عند درجة الحرارة المحيطة ، لتنتج قيمة المقاومة $\Theta^\circ \text{C}$ عند درجة الحرارة النهائية ، وعلى هذا

$$\Theta^\circ \text{C} = 20.2 (1 + 0.001 (20^\circ \text{C} - \Theta))$$

$$= 63 (1 + 0.0001 (20^\circ \text{C} - 100)) \frac{1}{\text{C}}$$

$$= 63 (1 + 0.0001 (20^\circ \text{C} \times 80)) \frac{1}{\text{C}}$$

$$= 63 (1.008)$$

$$= 63.504 \Omega$$

نلاحظ أن شدة التيار والجهد يتعرضان في هذه الحالة ، إلى تغيرات طفيفة ، ولكنها غير ملحوظة في حالة استخدام هذه المادة في المقاومات . ولكن عندما يستبدل النيكلولايت بالنحاس ،

$$\text{الذى معاملته الحرارى } 2.00 \text{ يساوى } 0.00393 \frac{1}{\text{C}}$$

$$\Theta^\circ \text{C} = 83.8 \Omega . \text{ وهذا يعنى زيادة في المقاومة بحوالى الثلث تقريبا بالنسبة للقيمة}$$

المبدئية . ولذلك فإن شدة التيار والجهد يتعرضان لتغيرات كبيرة . ويطلق على مواد المقاومة ذات المعامل الحرارى السالب مثل الكونستنتان موصلات درجات الحرارة العالية أو « ثرمستور » ، ويستخدم في صناعة فتيل التسخين للصمامات الالكترونية .

وتكون المقاومة صغيرة لفتيل التسخين في أجهزة الاستقبال التى يطلق عليها (مستقبلات كل المآخذ) ، والمعروفة بأجهزة الاستقبال للتيار المستمر والتيار المتردد ، وذلك عند لحظة تشغيلها . حيث يكون التيار المسار بها كبيرا ، مما يعرض الصمام لإجهادات تموجيه ، إلى أن ترتفع المقاومة بقدر كاف عندما تصل درجة حرارتها إلى درجة حرارة التشغيل . وبتوصيل مادة مقاومة معاملها الحرارى سالب من الكونستنتان إلى الدوائر التى يكون من خواصها أن مقاومتها تكون منخفضة عند بدء التشغيل (فتيل تسخين) ، ومقاومتها مرتفعة عند التشغيل المستقر . فينتج من ذلك ارتفاع في مقاومة الفتيل ، وانخفاض في المقاومة عند التشغيل المستقر . ويؤدى ذلك عمليا إلى ثبات التيار المسار بها . ويمكن استخدام تأثير درجة الحرارة على المقاومة في قياس درجات الحرارة ، بقياس المقاومة . ويستخدم ذلك على سبيل المثال ، في قياس الارتفاع في درجة حرارة الملفات التى يراد اختبارها، حيث يؤدى ارتفاع درجة حرارة ليفاتها، لقيمة غير مسموح بها ، إلى تلف العزل ، الذى يؤدى بدوره إلى انهيار المكنة الكهربائية .

(أ) تصنيف المواد العازلة :

تم اكتشاف وإنتاج عديد من مواد العزل ، في مضمار تطوير الهندسة الكهربائية بأعداد كبيرة يصعب حصرها ، ويضاف إلى ذلك تسويق مواد عازلة من نفس المكون تحت أسماء تجارية مختلفة . ويعطى التصنيف التالى حصرا لما يحتويه هذا المجال المتسع من المواد العازلة :

مواد طبيعية غير عضوية .

مواد طبيعية عضوية .

مواد عزل من الخزف والزجاج .

ورق - نسيج وزيت .

لدائن .

وتتم هذا التصنيف طبقا لطبيعة المادة المصنوع منها هذه العوازل ، واستخداماتها المختلفة .

(ب) قيم المقاومة لمواد العزل :

يختلف تحديد المقارمية لمواد الموصلات ومواد المقاومات عنه في مواد العزل ، حيث لا يعتمد تحديد المقارمية لمواد العزل على مساحة مقطع مستعرض مقدارها ١ م^٢ وطول قدره ١ م . ولكن هذا التحديد يكون على أساس مكعب طول ضلعه متر واحد . وهذا هو تعريف الأوم .

مثال :

الوحدة	القيمة
$\frac{\Omega \text{ م}^2}{\text{م}}$	١,١
$\frac{\Omega \text{ سم}^2}{\text{م}}$	٠,٠١١
$\frac{\Omega \text{ ديسم}^2}{\text{م}}$	٠,٠٠٠١١
$\frac{\Omega \text{ م}^2}{\text{م}}$	٠,٠٠٠٠٠١١

ويمكن كتابة التعبير $\frac{\Omega \text{ م}^2}{\text{م}}$ بالطريقة التالية

$$\frac{\Omega \text{ م} \times \text{م}}{\text{م}}$$

وتصبح القيمة الأخيرة في المثال السابق بعد الاختصار $\Omega \text{ م} \times ٠,٠٠٠٠٠٠١١$.

ويوضح الجدول التالى بعض مواد العزل ومقادير مقاومات عزلها . وللتسهيل سوف نكتب الأرقام مرفوعة للأس .

مثال :

يبين الجدول التالي مقاومة العزل للكوارتز وبقدرها $\times 1910 \Omega$ م ويمكن كتابتها أيضا .

$\times 4 \dots \dots \dots 10 \Omega$ م أو $\dots \dots \dots 40 \Omega$ م

مادة العزل مقاومة العزل Ω م

1910×4	الكوارتز
$1610 - 1510$	الميك
1510×2	الأسبتوس
1610	المطاط الطبيعي
1210	المطاط الصناعي
$1510 - 1410$	الصيني الصلب والمصقول
$1510 - 1410$	الاستيتيت (حجر صناعي)
$1410 - 1110$	الزجاج
$1210 - 1110$	الورق المشرب بالبرافين
$1410 - 1010$	الورق المضغوط
1210	زيت المحولات
$1510 - 1010$	تجهيزات خزفية خاصة
$1510 - 1210$	اللدائن

(ج) شرح موجز لمواد عازلة :

الكوارتز : يستخدم كمادة عازلة في اجهزة القياس ، وخاصة في مجالات الترددات العالية .
ويستخدم الكوارتز أيضا في الأغراض التي يعرض فيها لدرجات حرارة عالية ، حيث أنه صامد للحرارة وغير حساس للتغيرات في درجة الحرارة .

الميك : ويمكن شطرها بسهولة إلى ألواح صغيرة . وتصلح كمادة عازلة في المواسعات .
وتستخدم ألواح الميك المغراة بعضها ببعض بمحلول الشيلك (الميكاتيت) في المبدلات ومقاومات التسخين ، اللازمة لمكثفات والمسخنات الكهربائية .

الاسبتوس : يستخدم أساسا في المسخنات الكهربائية . وهو مادة ليفية تدخل في إنتاج النسيج العازل . وتشتمل هذه الأنسجة أيضا ، على مواد ليفية أخرى تقلل من استقرارها الحراري كمنتج نهائي .

القلفونية : وتنتج من الراتنج الطبيعي ، وتستخدم كمادة عزل إضافية للزيوت المعدنية ، أو تستخدم لتشريب الورق العازل المستخدم في إنتاج الكبلات .

الشيلاك : وهو مادة راتنجية ، بدأ إنتاجه في الهند ويستخدم بكثرة كمادة عازلة للفيقات المكنات الكهربائية .

المطاط : يصنع من الكاوتشوك الطبيعي . ومن الأنفع استخدامه فيما بين درجتي الحرارة $- 30^{\circ}\text{م}$ ، $+ 60^{\circ}\text{م}$ فقط . وهو حساس لمفعول الزيوت والبنزين . ويعتبر المطاط من المواد العازلة ذات الخصائص الكهربائية الجيدة . ويمكن تشكيله بسهولة .

الصيني : وينتج بأنواع متعددة كثيرة ، ويكون للصيني الصلد الذي يتكون من ٥٠ في المائة كاولين و ٢٥ في المائة كوارتز و ٢٥ في المائة فلسبار ، أهمية عملية في الهندسة الكهربائية . وتصنع منه عادة العوازل المستخدمة في الخطوط الهوائية لنقل القدرة الكهربائية للجهد العالي ، كما يصنع منه العوازل النفاذي للمحولات .

الاستيتيت : (ويعرف أيضا بالحجر الصابوني) ويشبه الصيني . ومتانته أعلى منه وخواصه الكهربائية أفضل منه . ويلزم لإنتاج ملفات الترددات العالية .

الزجاج : يندر استخدامه في الهندسة الكهربائية ، نظرا لمقاومته المنخفضة لتغيرات درجة الحرارة . وقد تستخدم الخيوط الزجاجية في بعض الأحيان بدلا من الاستيتوس ، نظرا لاستقرارها الحراري العالي . ونستخدم العوازل الزجاجية أحيانا في البلاد التي تكون درجة حرارتها ثابتة نسبيا .

الورق : يستخدم في الهندسة الكهربائية إما غير مشرب في إنتاج كبلات الجهد المنخفض ، أو مشرب بالزيت أو البرافين لأغراض الجهد العالي .

الورق المضغوط : وهو ورق يعرض لضغط عالي أثناء تصنيعه . ويستخدم لعمل إطارات الملفات في المحولات الصغيرة ، وملء الفراغات في العضر الدوار أو العضو الساكن للمكنات الكهربائية .

الورق المقوى : أو ورق مكون من رقائق ، يصنع من طبقات من الورق تشرب براتنج وتعرض لضغط يصل إلى ٥٠٠ جوى (كجم/سم^٢) عند درجة حرارة قدرها ١٢٠ م^٥ . ويوجد الورق المقوى بسبك يتراوح بين ٠.١ مم و ١.٥ مم .

نسيج مكون من رقائق : يصنع من طبقات من النسيج مشربة براتنج بطريقة تشابه تلك المستخدمة لإنتاج الورق المقوى . وتصنع من الحرير الصناعي أو الكتان أو القطن أو خيوط الزجاج . ويمكن الحصول عليه تجاريا بسبك فيما بين ٠.٥ مم و ٣.٠ مم . وخواصه الميكانيكية أحسن من خواص الورق المقوى .

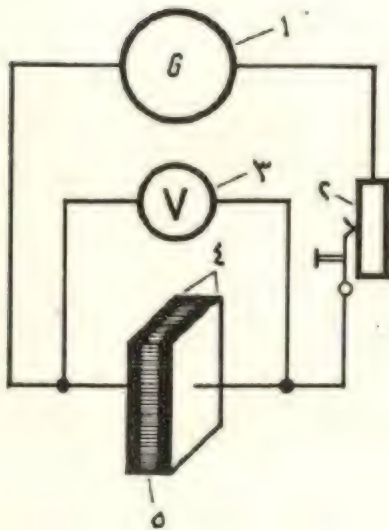
الأنسجة العازلة : وتكون غالبا من شرائط القطن أو الحرير الصناعي بعرض بين ٥ مم و ٣٠ مم ، وتستخدم أحيانا مشربة بالزيت في رباط الكبلات والملفات المحصورة .

الزيوت العازلة : وتستخدم في الهندسة الكهربائية كمادة عازلة . وكوسيلة لتبديد الحرارة ، وتستخدم الزيوت المعدنية خاصة في هذه الأغراض .

اللدائن : وقد حلت محل كثير من المواد العازلة المدروسة ، وأصبحت تستخدم على نطاق واسع . وتنقسم اللدائن إلى مجموعتين مختلفتين تبعاً لتصرفهما بالنسبة للحرارة وهما : لدائن حرارية وأخرى مصلدة حرارياً thermoplastic & thermosetting plastic . ويمكن تليين اللدائن الحرارية مرة ثانية بالتسخين ، وتستخدم كشرائط أو أغلفة عازلة للموصلات . ومن خواص اللدائن المصلدة حرارياً دوام صلابتها وجسوءتها بالتسخين ، وتستخدم في ألواح قواعد المكثفات ، وأغلفة المعدات ، وصناديق التوزيع والتحكم وخلافه .

(د) متانة الوسط الكهربائي العازل :

يعتمد استخدام المادة العازلة بدرجة كبيرة على متانة وسطها الكهربائي العازل ، ويعرف بالعلاقة بين الجهد المسلط وسمك المادة العازلة . والشكل (٦١) مثال لرسم الدائرة لتحديد متانة الوسط الكهربائي العازل لمواد عازلة .



شكل ٦١ : دائرة اختبار لتمثيل متانة الوسط الكهربائي العازل :

- ١ - مولد جهد عال .
- ٢ - مقاوم متغير .
- ٣ - فلطمتر .
- ٤ - لوح معدني .
- ٥ - عينة اختبار .

تربط قطعة من العازل المراد اختباره سمكها ١ مم بين لوحين معدنيين . ويضبط الجهد المسلط عليهما من مولد جهد عال بواسطة مقاوم متغير . ويقاس هذا الجهد بفلطمتر . وعند قيمة معينة للجهد ، يحدث توصيل كهربائي بين اللوحين المعدنيين على هيئة شرارة ، وتتحرق المادة العازلة . فإذا وضع مثلاً ، لوح من بلاستيك كلوريد عديد الفينيل (PVC) ، سمكه ١ مم بين هذين اللوحين فيلزم تسليط جهد قيمته حوالي ٩٥٠٠٠ فلت (٩٥ كيلو فلت) عليهما حتى يتمكن التيار الكهربائي من إحداث شرارة خلال مادة البلاستيك .

ويبين الجدول التالي قائمة بمتانة الوسط الكهربائي العازل لبضع مواد عازلة :

المتانة الوسط الكهربائي العازل كيلوفلظ / مم	المواد العازلة
٣٥	كوارتز
٣٥-٢٥	ميكاف
٢٢- ٦	ورق مضغوط
١٢- ٨	ربت محولات

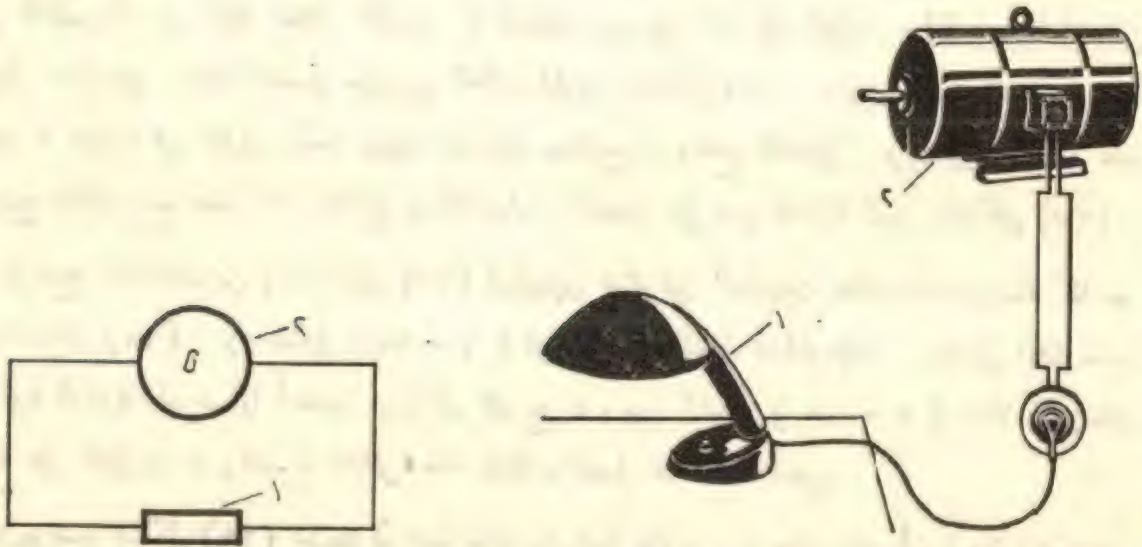
الفصل السابع

دوائر بسيطة وشبكات كهربائية

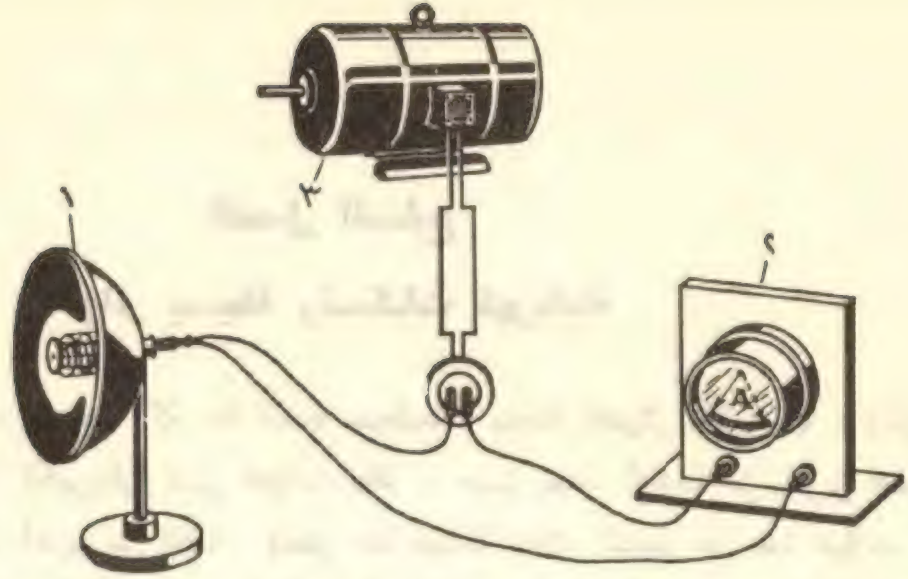
فيما يختص بإعطاء تعاريف أكثر دقة لبضعة مصطلحات متعلقة بالدوائر الكهربائية ، ذكرنا فيما سبق أن الأجهزة الكهربائية تسمى محولات طاقة ، حيث يعتمد أداؤها على تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة . ونعطي هنا نموذجاً لدوائر تشتمل على عدة محولات ، فمثلاً تتوهج عدة مصابيح كهربائية ، بينما تكون أجهزة لراديو والتليفزيون في حالة تشغيل . ويشغل مسخن ماء كهربائي ، بينما يقوم محرك ثلاجة كهربائية بإدارة كباس ، كل ذلك يحدث في نفس الطابق . ويمكن اعتبار كل هذه المحولات للطاقة مقاومات في دائرة معينة مقاومتها (م) .

١/٧ - الطرق المختلفة لتوصيل المقاومات :

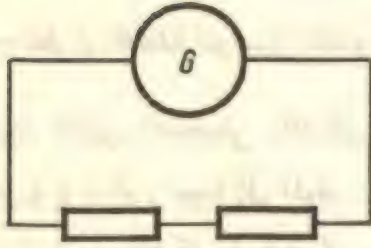
يبين التمثيل التخطيطي بالشكل (٦٢) مسار التيار الكهربائي من مولد إلى مصباح كهربائي (أباجورة) ، ثم رجوعاً إلى المولد . وإذا اعتبرنا المصباح الكهربائي مقاوماً ، فإننا نحصل على رسم الدائرة الموضح بالشكل (٦٣) .



- شكل ٦٢ : تمثيل مبسط لترقيبة بها مولد ومصباح :
 ١ - مصباح منضدة .
 ٢ - مولد .
- شكل ٦٣ : رسم الدائرة للشكل (٦٢) .
 ١ - مصباح منضدة مثل بمقاوم .
 ٢ - مولد .



شكل ٦٤ : تمثيل مبسط لترتيبة دائرة بها مولد وأميتور ومسخن بشكل قطع مكافئ .
 ١ - مسخن بشكل قطع مكافئ . ٢ - أميتور . ٣ - مولد .



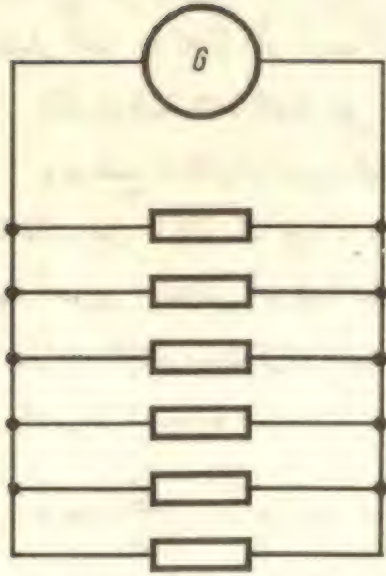
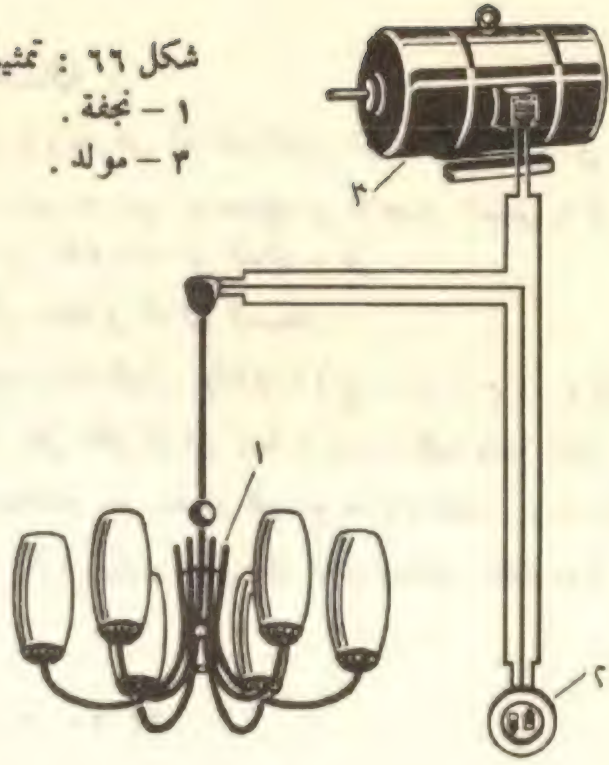
شكل ٦٥ : رسم الدائرة للشكل (٦٤) .

يبين الشكل (٦٤) تمثيلا تخطيطيا لترتيبة دائرة بها مسخن بشكل قطع مكافئ وأميتور ، يمر التيار الكهربائي من المولد خلال الأميتور ثم المسخن ويرجع ثانيا إلى المولد . وإذا اعتبرنا المسخن والأميتور مقاومين ، فإننا نحصل على رسم الدائرة المبين بالشكل (٦٥) . ويبين الشكل (٦٦) ترتيبا أخرى ، عبارة عن تمثيل مبسط لنجفة بها ستة مصابيح في وضع التشغيل . وبتمثيل كل من هذه المصابيح بمقاوم مع عدم أخذ المفتاح في الاعتبار ، نحصل على رسم الدائرة المبين بالشكل (٦٧) .

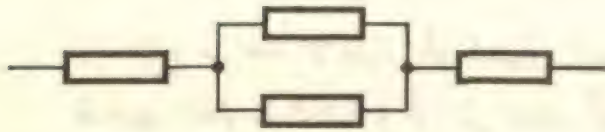
توضح الأشكال من (٦٤) إلى (٦٧) ترتيبين لدائرتين أساسيتين بمقاومات موصلة كما هو مبين بالشكل (٦٨) . وبالشكل (٧٨ - ١) توصيل على التوالي للمقاومات . وتعطى المقاومات في ترتيبية الدائرة هذه مسارا أحاديا دون أى تفريع ، ويبين الشكل (٦٨ - ٢) مثالا لمقاومات موصلة على التوازي ، وتتفرع الدائرة عند نقطة وتتصل عند نقطة أخرى .

ويوضح الشكل (٦٩) خليطا لترتيبة توالى وترتيبة تولزى ، ويطلق عليه أيضا دائرة مختلطة . إذا كانت جميع المقاومات موصلة على التوالى في دائرة معينة ، فيطلق على هذه الدائرة « دائرة بسيطة » ، بينما يطلق على الدائرة التى توصل بها المقاومات على التوازي ، أو على التوازي والتوالى معا « شبكية » . وفيما يلي شرح لحالات الجهد والتيار والمقاومة في الدوائر البسيطة والشبكية :

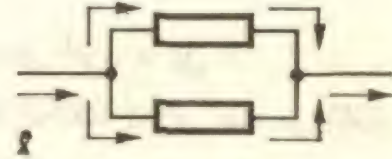
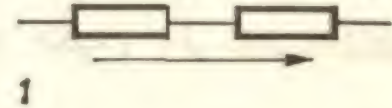
شكل ٦٦ : تمثيل مبسط لترتيبة لها مولد ونجفة :
 ١ - نجفة .
 ٢ - مفتاح كهربائي .
 ٣ - مولد .



شكل ٦٧ : رسم الدائرة للشكل (٦٦) .



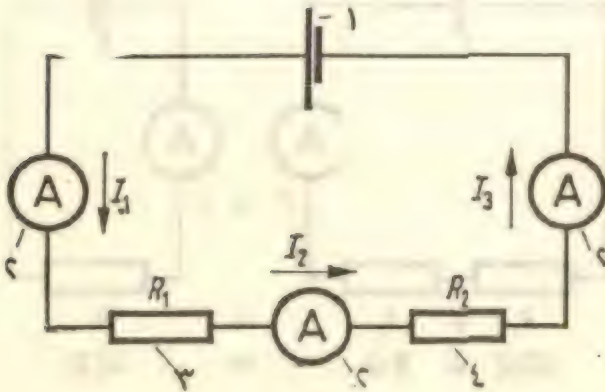
شكل ٦٩ : شبكية بها خليط لترتيبة
 توصيل قواى وتوازى معا :



شكل ٦٨ : مقاومات موصلة على التوالى
 ومقاومات موصلة على التوازى :
 ١ - دائرة توالى . ٢ - دائرة توازى .

٢/٧ - الدوائر البسيطة :

يبين الشكل (٧٠) رسما لدائرة بسيطة ، بها مقاومان مرصلان على التوالى ، $\Omega 30 = 12$ ، $\Omega 10 = 22$. ووضع بالدائرة ثلاثة أميترات عند ثلاثة مواضع . وقد استعملت هذه الاميترات لتبين شدة التيار I_1 ، I_2 ، I_3 ، عند هذه المواضع الثلاث فى الدائرة.



شكل ٧٠ : دائرة بسيطة تشمل مقاومتين :
 ١ - مصدر للجهد .
 ٢ - أميتر .
 ٣ - مقاومة 12Ω .
 ٤ - مقاومة 22Ω .

بتشغيل هذه الترتيبة نلاحظ الظاهرة التالية :

« تبين جميع الأميترات نفس القيمة » (وبفرض أن شدة التيار الميينة بكل أميتر في هذه الحالة هي ٠,٣ أمبير) . فينتج أن $I_1 = I_2 = I_3$. ونستنتج من الاختبار السابق ، أو أى اختبار آخر به ثلاثة أو أربعة أو أى عدد من المقاومات على التوالي ما يلي :

تكون قيمة شدة التيار هي نفسها عند أى نقطة في الدائرة البسيطة .

ويوضح « قانون أوم » العلاقة بين الجهد وشدة التيار والمقاومة (ج ، ت ، م) . ولإيجاد العلاقات بين المقاومان R_1 ، R_2 الموصلان على التوالي من جهة ، وبين الجهد وشدة التيار من جهة أخرى . نفرض أن قيمة الجهد المقاس بفلطمر عبر مصدر للجهد $E = 12$ فلت ، وحيث أن الأميترات الثلاثة بينت قراءة لشدة التيار قيمتها ٠,٣ أمبير . وعلى ذلك يمكن حساب المقاومة (م) من الصيغة التالية :

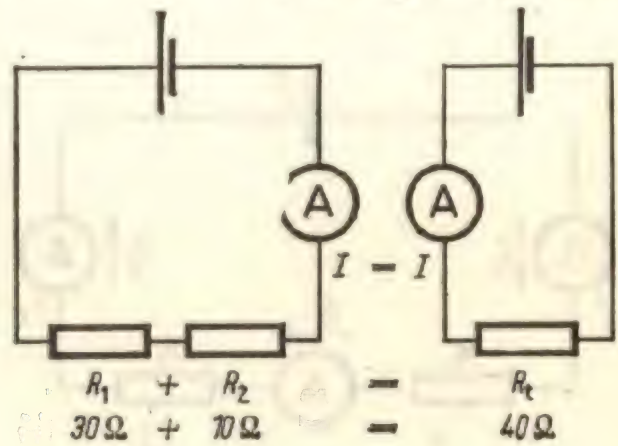
$$R = \frac{E}{I} = \frac{12}{0,3} = 40 \Omega$$

وهذا يعنى أن محصلة المقاومين نتجت من حاصل جمعهما ، حيث أنه ذكر أن $R = 40 \Omega$ ، $R_1 = 10 \Omega$. وإذا أطلقنا على القيمة 40Ω « المقاومة الكلية » أو « المقاومة المكافئة » لهذه الدائرة ، يمكننا كتابة $R = R_1 + R_2$

ونستنتج من هذا الاختبار وأى اختبار آخر بمقاومات على التوالي ما يلي :

تساوى المقاومة الكلية (أو التى تعرف أيضا بالمقاومة المكافئة) لأى عدد من المقاومات الموصلة على التوالي ، حاصل جمع المقاومات الفردية لهذه المقاومات . وكذلك أيضا :

تكون قيمة المقاومة المكافئة للمقاومات الموصلة على التوالي دائما أعلى من أعلى مقاومة على حدة في هذه المقاومات . ويستخدم الشكل (٧١) لبيان حالات ترتيبات دوائر التوالي . ويلى ذلك الخطوة الثانية لإيجاد اشتراطات الجهد في الدائرة البسيطة . وبين الشكل (٧٢) الدائرة السابقة وبها ثلاثة فلطمرات موصلة معا .



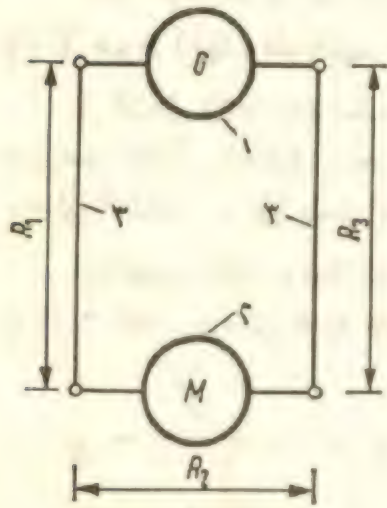
شكل ٧١ : يوضح العلاقة بين كل مقاومة على حدة والمقاومة المكافئة لترتيبة توالى :

وبتحريك وصلة الفلطمتر على سلك المقاومة إلى اليمين ، تزداد قراءة الفلطمتر تدريجيا حتى تصل إلى قيمة فلط التشغيل لمصدر الجهد ، أى ج = ١٢ فلط . وبتحريك وصلة الفلطمتر على سلك المقاومة إلى الشمال ، تنقص قراءة الفلطمتر تدريجيا إلى أن يبين الفلطمتر ج = صفر . وتوضح هذه التجربة أن جهد الدائرة يهبط تدريجيا على أى مقاوم فيها ، ويطلق على ذلك « هبوط الجهد » . ويلعب هبوط الجهد دورا هاما في الهندسة الكهربائية . فتكون أى ترتيبية كهربائية من وصلات ومحولات طاقة (بإهمال مصدر الجهد) . وعمليا تكون هذه الوصلات ومحولات الطاقة مقاومات موصلة على التوالي ، يهبط عبرها الجهد أيضا . ويوضح الشكل (٧٤) هذه الحقيقة . يتحول هبوط الجهد على الوصلتين (١٢ ، ٣٣) إلى حرارة ، أى يفقد بالنسبة لكل من المستهلك ومولد الطاقة الكهربائية . وعلى هذا يطلق على هبوط الجهد في وصلات نظام كهربائى « فقد الجهد » . وتحدد محطات القوى الكهربائية « هبوط الجهد » وبالتالي « فقد الجهد » لأى نظام كهربائى معين . وتحدد قيمة « فقد الجهد » تماما في نطاق الحدود المطلوبة بتحديد مساحة المقطع المستعرض المناسب للمحيط .

مثال :

محول طاقة ، تيار دخله ت = ١٢ أميتر ، موصل يأخذ رئيسى تيار مستمر ، جهد تشغيله ج = ٢٢٠ فلط ، عند نقطة تبعد ١٢٥ مترا عن وصلة المأخذ ، ولا يتعدى هبوط الجهد المسموح به ٢ في المائة من جهد التشغيل . ويستخدم النحاس لمادة توصيل . فما مساحة المقطع المستعرض للمنط المطلوب تركيبه ؟

المعطيات :



$$ج = ٢٢٠ فلط .$$

فقد الجهد ٢ في المائة

$$ت = ١٢ أميتر$$

$$ل = ٢ \times ١٢٥ متر$$

$$\chi \text{ نحاس} = ٥٦ \frac{\Omega}{\text{مم}^2}$$

المطلوب : مساحة المقطع المستعرض (ج) للسلك .

الحل :

شكل ٧٤ : أسلاك ومحولات تكون مقاومات في الدائرة :

١ - مصدر للجهد (مولد) .

٢ - محرك طاقة (محرك كهربائى) .

$$١ - \text{فقد الجهد} = \frac{٢ \times ٢٢٠}{١٠٠} = ٤,٤ فلط$$

$$٢ - \frac{\text{فقد الجهد}}{ت} =$$

$$\Omega \ 0,367 = \frac{4,4}{12} = 2$$

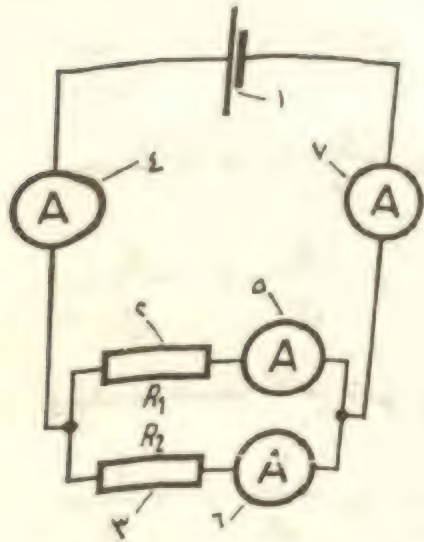
$$\frac{L}{2 \times \lambda} = \text{المساحة (ج)}$$

$$\frac{125 \times 2}{0,367 \times 56} =$$

$$12 \text{ م}$$

ج
يكنى لهذا الخط مساحة مقطع مقدارها ١٢ م^٢

٣/٧ - الشبكيات :
يبين الشكل (٧٥) مثالا لرسم الدائرة لشبكية مكونة من مقاومين ١٢ = ٣٠ Ω ،
٢٢ = ١٠ Ω موصلين على التوازي . ويدخل في الدائرة أربع أميترات .



- شكل ٧٥ : شبكة بمقاومين :
- ١ - مصدر للجهد .
 - ٢ - مقاوم ١٢
 - ٣ - مقاوم ٢٢
 - ٤ - أميتر (١)
 - ٥ - أميتر (٢)
 - ٦ - أميتر (٣)
 - ٧ - أميتر (٤)

نلاحظ عند تشغيل هذه الترتيبية ما يلي : تبين الأميترات
قيما مختلفة طبقا لما سبق شرحه في الدائرة البسيطة . فبين
الاميتر (١) ، والاميتر (٤) ١,٦ أمبير ، بينما يبين
الاميتر (٢) ٠,٤ أمبير والاميتر (٣) ١,٢ أمبير .
ويجمع قيمتي شدة التيار للفرعين ١ ، ٢ اللتان تمران خلال المقاومان ١٢ ، ٢٢ نحصل
على شدة التيار الإجمالية ت_ج المبينة بالاميتر (١) والاميتر (٤) قبل وبعد التفريع . ونوجد
قيمة شدة التيار ت_١ ، ت_٢ في كل من الفرعين في الدائرة عند جهد قدره ج = ١٢ فلت كما يلي :

$$ت_1 = \frac{ج}{12} = 1 \text{ ت} , \frac{12 \text{ فلت}}{\Omega \ 30} = 1 \text{ ت} , ت_1 = 0,4 \text{ أمبير}$$

$$ت_2 = \frac{ج}{22} = 2 \text{ ت} , \frac{12}{10} = 2 \text{ ت} , ت_2 = 1,2 \text{ أمبير}$$

وبذلك يمكن كتابة :

$$ت = ت_1 + ت_2$$

ج
وبإجراء عدة قياسات على العديد من مقاومات التوازي نحصل على نفس النتيجة التالية :

التيار الإجمالي في الشبكية التي يمر بها عدة مقاومات موصلة على التوازي يساوي مجموع التيارات المارة في فروع الدائرة .

ويمكن تحديد المقاومة المكافئة لمقاومين أو أكثر موصولين على التوازي . فنحدد أولا المقاومة المكافئة R_K للمثال السابق طبقا للشكل (٧٥) . ويمكن تحديد R_K بسهولة جدا في حالة وجود أجهزة قياس :

$$R_K = \frac{U}{I} = \frac{12}{0.6} = 20 \Omega$$

ويمكن تعيين قيمة المقاومة المكافئة إذا عرفنا قيمة كل مقاومة على حدة . ونبدأ بالصيغة التالية :

$$I = I_1 + I_2$$

$$\text{وحيث أن } I = \frac{U}{R_K} \text{ ينتج أن :}$$

$$\frac{U}{R_K} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$$

وبقسمة الصيغة الأخيرة على U ينتج :

$$\frac{1}{R_K} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

وهذا يعني :

مقلوب المقاومة المكافئة لعدة مقاومات موصلة على التوازي يساوي مجموع مقلوب مقاومة كل مقاوم على حدة .

وتطبيقا على المثال السابق ينتج من هذا ما يلي :

$$\frac{1}{R_K} = \frac{1}{10} + \frac{1}{30} = \frac{1}{7.5}$$

$$\frac{4}{30} = \frac{2}{30} + \frac{1}{30} + \frac{1}{30}$$

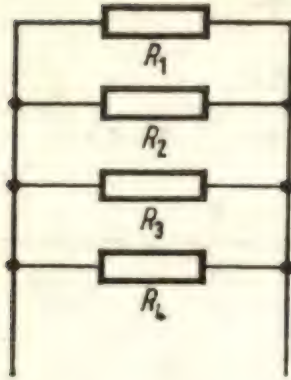
ومن مقلوب هذه الصيغة (برفع الصيغة للأس - ١) ينتج :

$$\frac{\Omega \ ٣٠}{٤} = \text{أك}$$

$$\Omega \ ٧,٥ = \text{أك}$$

وهذه هي نفس النتيجة التي تم الحصول عليها من الحسابات المبينة على الجهد وشدة التيار .

مثال :



المطلوب إيجاد انقاومة المكافئة $R_{\text{أك}}$ طبقاً للشكل (٧٦)

$$\frac{1}{١٠٠} + \frac{1}{٤٠} + \frac{1}{٥٠} + \frac{1}{٢٥} = \frac{1}{\text{أك}}$$

$$\frac{٢}{٢٠٠} + \frac{٥}{٢٠٠} + \frac{٤}{٢٠٠} + \frac{٨}{٢٠٠} = \frac{1}{\text{أك}}$$

$$\frac{١٩}{٢٠٠} = \frac{1}{\text{أك}}$$

$$\frac{٢٠٠}{١٩} = \text{أك}$$

$$\Omega \ ١٠,٥٣ = \text{أك}$$

شكل ٧٦ : أربع مقاومات
موصلة على التوازي :

$$\Omega \ ٢٥ = ١م$$

$$\Omega \ ٥٠ = ٢م$$

$$\Omega \ ٤٠ = ٣م$$

$$\Omega \ ١٠٠ = ٤م$$

وإذا أخذنا في الاعتبار حالات الجهد في الشبكيات ذات المقاومات الموصلة على التوازي ، نجد أن نفس الجهد يكون مسلطاً على كل فرع به مقاوم .

يسلط نفس الجهد على كل فرع به مقاوم في أي شبكية بها مقاومات موصلة على التوازي .

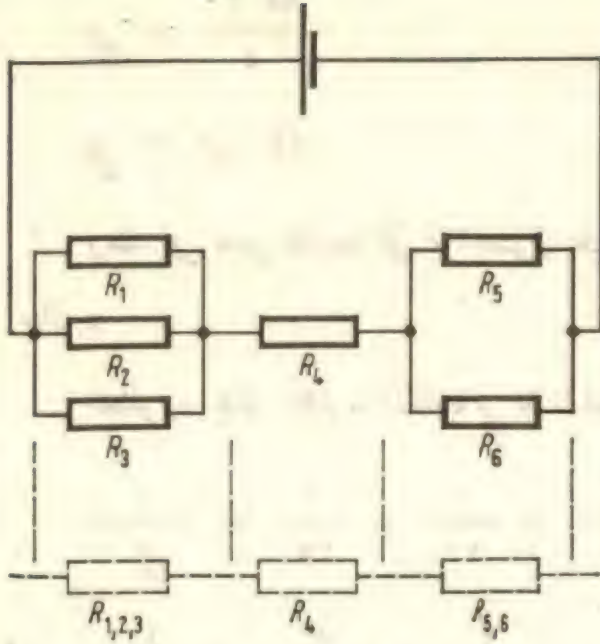
يستخدم الشكل (٧٧) لإيضاح حالات المقاومة في شبكية بها مقاومات موصلة على التوازي والتوالي .

فإذا أردنا إيجاد قيمة المقاومة المكافئة $R_{\text{أك}}$ لهذه الشبكية ، نفرض أن الدائرة تتكون من ثلاث

مقاومات متصلة على التوالي ، يمثل إثنان منها المقاومة المكافئة لتوصيلتي توازي . ويوضح هذا الغرض بالمقاومات المرسومة بالخطوط المتقطعة بالشكل (٧٧) . وعلى هذا يمكن كتابة :

$$\text{أك} = ١م + ٢م + ٣م + ٤م = ١٠,٥٣$$

ثم توجد المقاومة المكافئة بالطريقة التالية :



$$\frac{1}{20} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} = \frac{1}{3.62,12}$$

$$\frac{1}{20} + \frac{5}{20} + \frac{4}{20} =$$

$$\frac{10}{20} =$$

$$\Omega 2 = \frac{20}{10} = 3.62,12 \therefore$$

$$\frac{2}{8} = \frac{1}{8} + \frac{1}{8} = \frac{1}{6,50}$$

$$\Omega 4 = \frac{8}{2} = 6,50$$

شكل ٧٧ : شبكة بها مقاومات موصلة على التوازي والتوالي :

$$\Omega 50 = 4م$$

$$\Omega 8 = 5م$$

$$\Omega 8 = 6م$$

$$\Omega 4 = 12م$$

$$\Omega 4 = 2م$$

$$\Omega 20 = 3م$$

وبالتعويض بالقيم التي تم إيجادها نحصل على ما يلي :

$$4 + 50 + 2 = 56م$$

$$\Omega 56 = 56م$$

المقاومة المكافئة لترتيبة هذه الدائرة هي $\Omega 56$ وبإلقاء نظرة فاحصة على الأمثلة السابقة الخاصة بمقاومات التوازي ، نحصل على النتيجة التالية :

تكون قيمة المقاومة المكافئة لأي ترتيبية مقاومات موصلة على التوازي ، أقل دائماً من مقاومة أصغر مقاوم على حدة بها .

(١) إيجاد قيمة Ω للمقاومات الموصلة على التوازي في حالات خاصة :

في ختام مناقشة الدوائر البسيطة والشبكيات الكهربائية تعطى طريقتان تفيدان في إيجاد قيمة المقاومات المكافئة لعدة مقاومات لها نفس المقاومة وموصلة على التوازي :

مقاومان على التوازي :

$$\text{يعاد ترتيب الصيغة } \frac{1}{2م} + \frac{1}{12م} = \frac{1}{\Omega م} \text{ بعد إيجاد المعامل المشترك في المقام ،}$$

بهذه الكيفية :

$$\frac{22}{22 \times 12} + \frac{12}{22 \times 12} = \frac{1}{\text{ك}}$$

$$\frac{22 + 12}{22 \times 12} = \frac{1}{\text{ك}}$$

$$\frac{22 \times 12}{22 + 12} = \text{ك}$$

ولتأكد من ذلك نعوض عن المقاومين ١٢ ، ٢٢ بقيمتها ١٢ = ٣٠ ، ٢٢ = ١٠ ، Ω فنحصل على ما يلي :

$$\Omega_{٧,٥} = \frac{300}{40} = \frac{10 \times 30}{10 + 20} = \text{ك}$$

أي عدد من المقاومات لها نفس المقاومة وموصلة على التوازي :

تشمل الشبكية المبينة في الشكل (٧٧) ترتيباً لمقاومين لهما نفس المقاومة وموصلين على التوازي ، وهما ٥ ، ٦ ، وقيمة كل منهما ٨ Ω . وقد أوجدنا قيمة المقاومة المكافئة لهذين المقاومين بنفس الطريقة الرياضية المستخدمة في إيجاد المقاومة المكافئة م ١ ، ٢ ، ٣ وعلى أي الأحوال ، يمكن استخدام الطريقة السابقة لإيجاد مقاومتين على التوازي :

$$\frac{8 \times 8}{8 + 8} = \text{ك}$$

$$\Omega_{٤} = \frac{64}{16} = \text{ك}$$

ونعطي هنا طريقة أبسط كما يلي :

$$\frac{\text{قيمة المقاوم على حدة (أوم)}}{\text{(عدد المقاومات الموصلة على التوازي) العدد}} = \text{ك}$$

$$\Omega_{٤} = \frac{8}{2} = \text{ك}$$

وإذا وصل ، على سبيل المثال ، ٧ مقاومات على التوازي وقيمة كل منها ٣,٥ Ω

$$\Omega_{٠,٥} = \frac{3,5}{7} = \text{ك}$$

(ب) مقارنة بين دوائر التوالي والتوازي :

دائرة توالى

$$\text{شدة التيار } I = I_1 = I_2 = \dots$$

$$\text{الجهود } V = V_1 + V_2 + \dots$$

$$\text{المقاومة } R = R_1 + R_2 + \dots$$

دائرة توازي

$$I = I_1 + I_2 + \dots$$

$$V = V_1 = V_2 = \dots$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

الفصل الثامن

الشغل والقدرة والكفاءة الكهربائية

٨ / ١ ملاحظات عامة على الشغل والقدرة :

يعرف الشغل بمعناه الشامل ، بأنه استنفاد للطاقة في غرض من الأغراض . فالشخص الذي يحمل جوالاً من الحبوب من مخزن إلى عربة نقل ، يبذل شغلاً . ولتقل هذا الجوال تلزم قوة معينة - وتقطع مسافة معينة . وفيزيائياً ، فقد بذل شغل ميكانيكى (ش) يساوى حاصل ضرب القدرة (ق) في المسافة (ف) ، إذا كانا في نفس الاتجاه ، وعليه فإن :

$$\text{ش} = \text{ق} \times \text{ف}$$

ويمكن تفهم المقصود بالقدرة إذا أخذنا في الاعتبار الزمن الذي يبذل خلاله الشغل . فمثلاً يبذل شخص يحمل ٢٠ جوالاً من الحبوب من مخزن إلى عربة نقل خلال ساعة واحدة شغلاً أكثر من شخص يحمل ١٥ جوالاً فقط من الحبوب لنفس المسافة وفي نفس الزمن . وفيزيائياً ، فقد نتجت عن ذلك قدرة ميكانيكية (قد) وتساوى حاصل ضرب القوة (ق) في المسافة (ف) مقسوماً على الزمن (ز) أو الشغل مقسوماً على الزمن ، وعليه فإن :

$$\text{قد} = \frac{\text{ق} \times \text{ف}}{\text{ز}} = \frac{\text{ش}}{\text{ز}}$$

وسوف نتناول فيما يلي الشغل الكهربائى والقدرة الكهربائية .

٨ / ٢ - الشغل الكهربائى :

يساعد الشكلان (٧٨) ، (٧٩) في شرح العلاقات بين الجهد وشدة التيار والزمن . ومعرفة هذه الكميات لازمة لتحديد الشغل الكهربائى .

يبين الشكل (٧٨) رسم الدائرة لترتيبة مكونة من عداد كهربائى (عداد واط ساعة) وأميتر ، ومحول طاقة (في هذه الحالة مصباح متوهج) .

عند تشغيل هذه الترتيبة ، فسوف يبين العداد (لا نحتاج حالياً إلى شرح طريقة عمله) الشغل الكهربائى المبذول ، وذلك بواسطة نبيطة عد ميكانيكية . وتبقى قراءة الأميتر ثابتة خلال هذا الزمن . وبمقارنة قراءة العداد بعد تشغيل ساعة بقراءته بعد تشغيل نصف ساعة نجد أن القراءة أصبحت الضعف .

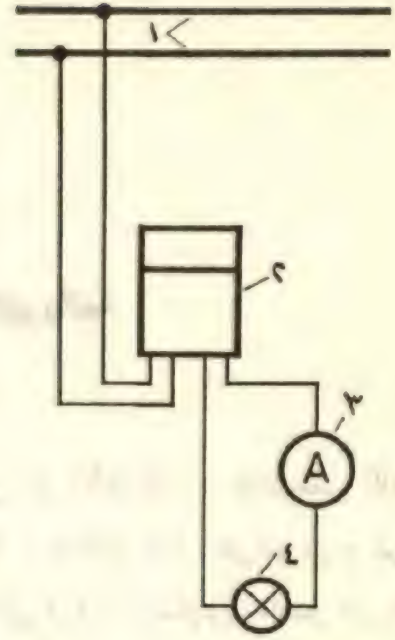
ونحصل على نفس النتيجة بمقارنة قراءة العداد بعد تشغيل ساعتين بقراءته بعد ساعة تشغيل .

شكل ٧٩ : نفس ترتيبية الشكل (٧٨) مع إضافة مصباح متوهج آخر وله نفس معدل المصباح الأول ويوصل معه على التوازي .



شكل ٧٨ : ترتيبية اختبار لتحديد الشغل الكهربائي :

- ١ - مأخذ رئيسي بجهد ثابت .
- ٢ - عداد كهرباء .
- ٣ - أميتر .
- ٤ - مصباح .



وحيث أن الجهد وشدة التيار ثابتان ، فإنه يمكننا الحصول على النتيجة التالية :
يتناسب الشغل الكهربائي تناسباً طردياً مع زمن التشغيل ، وذلك في حالة ثبوت الجهد وشدة التيار .

ش α ز (ج ، ت ثابتان) .

يوضح الجدول (٧٩) نفس الترتيبية المبينة في الشكل (٧٨) ، ولكن يوصل بها على التوازي مصباحان متوهجان بدلاً من مصباح واحد ويكون لهما نفس مقننه .

وبتشغيل هذه الترتيبية ، نجد أن قراءة العداد بعد نفس زمن التشغيل للاختبار السابق ، تصبح ضعف القراءة التي حصلنا عليها في حالة مصباح واحد . وحيث أن الجهد وزمن التشغيل ثابتان ، فإنه يمكننا الحصول على النتيجة التالية :

يتناسب الشغل الكهربائي مع شدة التيار تناسباً طردياً ، في حالة ثبوت الجهد والزمن .
ش α ت (ج ، ز ثابتان) .

وبتطبيق العلاقة بين الشغل الكهربائي والجهد نحصل على النتيجة التالية :
يتناسب الشغل الكهربائي مع الجهد تناسباً طردياً في حالة ثبوت قيمة شدة التيار وزمن التشغيل .

ش α ج (ت ، ز ثابتان) .

وبإدماج النتائج السابقة ، نحصل على الخلاصة التالية :
الشغل الكهربائي (في دائرة التيار المستمر) يساوي حاصل ضرب الجهد وشدة التيار والزمن .

$$\text{ش} = \text{ج} \times \text{ت} \times \text{ز} .$$

ويمكن تفسير قصر هذه القاعدة على دوائر التيار المستمر بعد دراسة مفهوم التيار المتردد .

٣/٨ - القدرة الكهربائية :

هناك علاقة بين الشغل والزمن ، كما سبق شرحه عند إيجاد قيمة القدرة الميكانيكية . وينطبق ذلك أيضا على القدرة الكهربائية ، وعليه فإن :

$$\frac{\text{الشغل الكهربائي}}{\text{الزمن}} = \text{القدرة الكهربائية}$$

$$\frac{\text{ج} \times \text{ت} \times \text{ز}}{\text{ز}} = \text{قد}$$

$$\text{وحيث أن خارج قسمة } \frac{\text{ز}}{\text{ز}} = ١ \text{ ، ينتج أن :}$$

$$\text{القدرة الكهربائية} = \text{الجهد} \times \text{شدة التيار}$$

$$\text{قد} = \text{ج} \times \text{ت}$$

القدرة الكهربائية ، في دائرة التيار المستمر ، تساوي حاصل ضرب الجهد في شدة التيار .
ووحدة القدرة الكهربائية هي فلت - أمبير . ولقد أطلق عليها المصطلح واط تكريما للعالم
الانجليزي جيمس واط (١٧٣٦ - ١٨١٩) .

وحدات الشغل الكهربائي والقدرة الكهربائية :

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
الشغل	ش	واط ثانية	و.ث
القدرة	قد	واط	واط

وتستخدم وحدات مشتقة من هذه الوحدات الأساسية مثل :

كيلوواط ساعة (ك.و.س) .

$$١ \text{ ك.و.س} = ٣٦٠٠٠٠٠ \text{ واط ثانية (و.ث) .}$$

وتستخدم عادة الوحدات التالية للقدرة الكهربائية :

$$١ \text{ كيلوواط (ك.و)} = ١٠٠٠ \text{ واط}$$

$$١ \text{ ميغاواط} = ١٠٠٠٠٠٠ \text{ واط}$$

مثال :

ما زمن تشغيل مصباح إشعاعي ليبذل شغلا قيمته ١ كيلوواط ساعة ، إذا كان دخل قدرته ٢٥٠ واط ؟

المعطيات :

$$\text{قد} = 250 \text{ واط}$$

$$\text{ش} = 1 \text{ كيلوواط ساعة}$$

المطلوب : الزمن ز

الحل :

$$\text{قد} = \frac{\text{ش}}{\text{ز}} , \text{ ز} = \frac{\text{ش}}{\text{قد}}$$

$$\text{ز} = \frac{1 \text{ ك و س}}{250 \text{ واط}} = \frac{1000 \text{ واط س}}{250 \text{ واط}} = 4 \text{ ساعة}$$

يمكن تشغيل المصباح الاشعاعى لفترة قدرها 4 ساعات لكى يبذل شغلا قدره 1 كيلوواط ساعة

مثال :

يراد تركيب جهاز طهو كهربائى دخل قدرته 2000 واط فى منزل . يغذى هذا المنزل من دائرة مأخذها الرئيسى 220 فلت بمصهر وقاية 10 أمبير . وقد تم تركيب المعدات الكهربائية المنزلية العادية ، مثل المسخن وجهاز الراديو والتليفزيون وخلافه . فهل يمكن توصيل جهاز الطهو الكهربائى هذا دون اتخاذ أى تدبير آخر ؟

المعطيات :

$$\text{قد} = 2000 \text{ واط}$$

$$\text{ج} = 220 \text{ فلت}$$

المطلوب شدة التيار ت

الحل :

$$\text{قد} = \text{ج} \times \text{ت}$$

$$\text{ت} = \frac{\text{قد}}{\text{ج}}$$

$$\text{ت} = \frac{2000 \text{ واط}}{220 \text{ فلت}} = \frac{2000 \text{ فلت أمبير}}{220 \text{ فلت}} = 9 \text{ أمبير}$$

دخل التيار لهذا الجهاز حوالى 9 أمبير ، ونظرا لوجود أجهزة كهربائية أخرى إلى جانب جهاز الطهو ، تشغل فى نفس الوقت ، فتكون الدائرة محملة بحمل زائد ، وينصهر المصهر نتيجة لهذا الحمل الزائد . لذا يحتاج جهاز الطهو إلى دائرة كهربائية أخرى ، بمصهر وقاية 10 أمبير .

يعبر عن كفاءة مكنة أو جهاز أو تركيبات كهربائية بنسبة الخرج النافع إلى الدخل الكل للقدرة . ويبدل المصممون والمتجرون أقصى جهد ممكن في جميع الفروع الهندسية ، في سبيل تصميم وبناء المكثات والأجهزة وغيرها ، لتحقيق اقتراب هذه النسبة من الواحد الصحيح أو مائة في المائة . وهذا يعنى أن المشتري يبحث دائماً عن مثل هذه المكنة أو الجهاز الذى يكون استهلاكه وفقد طاقته أصغر ما يمكن . ومثال ذلك : المصابيح الفلورية ذات الجهد المنخفض ، التى حلت محل المصابيح المتوهجة في كثير من المصانع والمكاتب . وهذا يرجع أيضاً إلى الكفاءة الضوئية العالية لها . وتتراوح هذه الكفاءة بين ٣ و ٣,٥ أضعاف كفاءة المصابيح المتوهجة ، التى لها نفس دخل القدرة ، ويرمز للكفاءة بالرمز η (ايتا) ، ويرمز لدخل القدرة بالرمز قدر وخرج القدرة بالرمز قدر خ وعليه .

$$\frac{\text{قدر خ}}{\text{قدر د}} = \eta$$

ويعبر عن الكفاءة بكسر عشرى (فثلاً ٠,٩ ، ٠,٧ ، ٠,٦٢) ويبين خرج القدرة المتاحة بدلالة كسور من دخل القدرة . وإذا أريد التعبير عن الكفاءة كنسبة مئوية ، تجرى الطريقة التالية :

$$\eta = ٠,٥ = \frac{٥٠}{١٠٠} = ٥٠ \text{ في المائة} .$$

مثال :

وجد أن خرج القدرة لجهاز كهربائي هو ٤٠٠ واط . وبتوصيل أميتر بخط التغذية ، لوحظ أنه يبين شدة نيار قيمتها ٢,٢٨ أميتر ، وكان جهد المأخذ الرئيسى ٢٢٠ فلت . ما كفاءة هذا الجهاز ؟

المعطيات :

$$\text{قدر خ} = ٤٠٠ \text{ واط}$$

$$\text{ت} = ٢,٢٨ \text{ أميتر}$$

$$\text{ج} = ٢٢٠ \text{ فلت}$$

للطلوب :

الكفاءة η

الحل :

$$\text{قد} = \text{ج} \times \text{ت} = \text{قد} \quad 2,28 \times 220 = \text{قد}$$

$$\text{قد} = 501,6 \text{ واط}$$

$$\eta = \frac{\text{قد} \text{ خ}}{\text{قد} \text{ د}} = \eta \quad \frac{400 \text{ واط}}{501,6} = \eta \quad \eta = 0,79$$

كفاءة هذا الجهاز هي ٠,٧٩

أي أن ٧٩ في المائة من دخل القدرة المستخدمة أمكن الاستفادة بها .

مثال :

تنص لوحة المقننات (لوحة البيانات) لجهاز كهربائي على أن كفاءته هي ٠,٨٥ ودخل قدرته ٢٥٠٠ واط ، ما خرج قدرته ؟

المعطيات :

$$\eta = 0,85 \quad \text{الكفاءة}$$

$$\text{قد} = 2500 \text{ واط}$$

المطلوب : قد خ

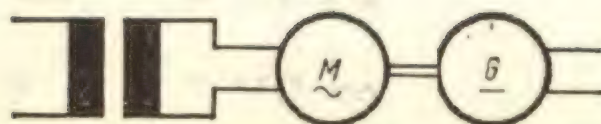
الحل :

$$\eta = \frac{\text{قد} \text{ خ}}{\text{قد} \text{ د}}$$

$$\text{قد} \text{ خ} = \eta \times \text{قد} \text{ د} = 2500 \times 0,85$$

$$\text{قد} \text{ خ} = 2115 \text{ واط}$$

خرج القدرة لهذا الجهاز هو ٢١١٥ واط



$$\eta = 0,93$$

$$\eta = 0,8$$

$$\eta = 0,72$$

رسم الدائرة للمسألة المطلوب حلها :

ويبين التحليل الموجز لتركيبات كهربائية تتكون من ثلاث وحدات ، مدى أهمية أخذ

الكفاءة في الاعتبار .

مثال :

يبين الشكل (٨٠) رسم الدائرة لتركيبات كهربائية مكونة من محول جهد عالي ، ومجموعة توليد كهربائية ، تشمل على محرك تيار متردد يدير مولد تيار مستمر (وتستخدم مثل هذه التركيبات في اللحام والطلاء الكهربائي) .

إذا كان دخل القدرة للمحول ٤,٥ كيلوواط . فما الكفاءة الإجمالية لهذه التركيبات ؟

المعطيات :

$$\text{قدر} = ٤,٥ \text{ كيلوواط}$$

$$\eta \text{ للمحول} = ٠,٩٣$$

$$\eta \text{ للمحرك الكهربائي} = ٠,٨$$

$$\eta \text{ للمولد الكهربائي} = ٠,٧٢$$

المطلوب :

$$\eta \text{ الكفاءة الإجمالية}$$

الحل :

يمكن أولاً حساب قدر للمحول ، ونعتبر هذه النتيجة قدر للمحرك الكهربائي . نحسب بعد ذلك قدر للمحرك على أساس دخل قدرته . ونعتبر ندخ للمحرك على أنها قدر للمولد الكهربائي ، ومنها يمكن حساب قدر للمولد . ويمكن ربط الأخيرة مع قدر للمحول . ونحصل على نفس النتيجة من حاصل ضرب كل القيم على حدة للكفاءة :

$$\eta = \eta \text{ للمحول} \times \eta \text{ للمحرك الكهربائي} \times \eta \text{ للمولد الكهربائي}$$

$$\eta = ٠,٩٣ \times ٠,٨ \times ٠,٧٢$$

$$\eta = ٠,٥٣$$

الكفاءة الكلية لهذه التركيبة ٠,٥٣ . وهذا يعني أن ٥٣ في المائة فقط من دخل قدرة المحول يمكن الحصول عليها كخرج قدرة للمولد . أي أنه يمكن استخدام حوالي ٢,٤ كيلوواط فقط من دخل قدرة قيمتها ٤,٥ كيلوواط .

الفصل التاسع

المغناطيسية ، والمغناطيسية الكهربائية

شرحنا في مقدمة هذا الكتاب التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي . ويستفاد بهذا التأثير في عدة نباتات وأجهزة ومكنات مغناطيسية كهربائية . فثلا ، تشغل جميع المكنات الدوارة على مبادئ المغناطيسية الكهربائية . ومن هذه المكنات المولدات والمحركات الكهربائية . عرف الإنسان من نديم الزمن الظاهرة المغناطيسية ، وكان ذلك قبل اكتشاف الظواهر المغناطيسية الكهربائية بفترة طويلة .

١/٩ - الظواهر المصاحبة للمغناطيسات الطبيعية والصناعية :

(١) نبذة تاريخية عن المغناطيسات الطبيعية :

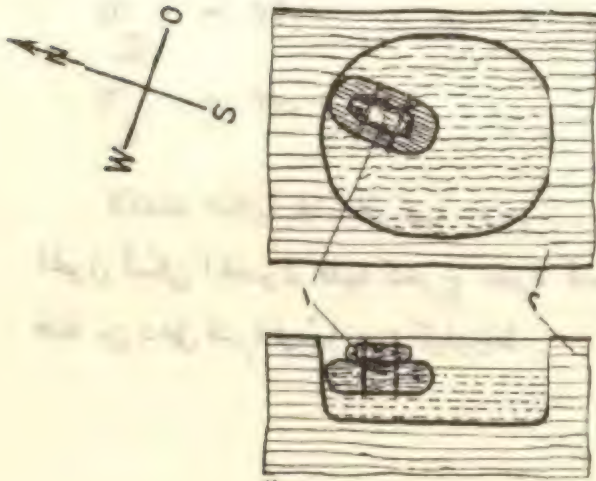
لم يعرف بعد على وجه التأكيد أول من اكتشف الحام الذي عرف بالمجنتيت أو حجر المغناطيس من قديم الزمن .

ويحدث هذا الحام تأثيرا ديناميكيا ، يمكن ملاحظته عند جذبهِ للمواد الحديدية والنيكل والكوبلت عند تقريبها إليه .

ومن المسلم به أن هذه المعرفة لم يكن لها الأهمية العملية في ذلك الوقت ، بينما كان الاكتشاف الأكثر أهمية هو التالي : إذا عُلقت قطعة من المجنتيت بحيث تكون حرة الحركة ، فإنها توجه نفسها في اتجاه معين بالنسبة لما يحيط بها . ونعرف اليوم أن هذا التوجيه يتطابق مع اتجاه شمال جنوب الكرة الأرضية . وقدمت خاصية المجنتيت هذه وسائل مقبولة . لتوجيه البحارة ، خلال رحلاتهم المحفوفة بالمخاطر في الأيام الأولى للبحرية .

وبين الشكل (٨١) مثالا للنموذج المبسط

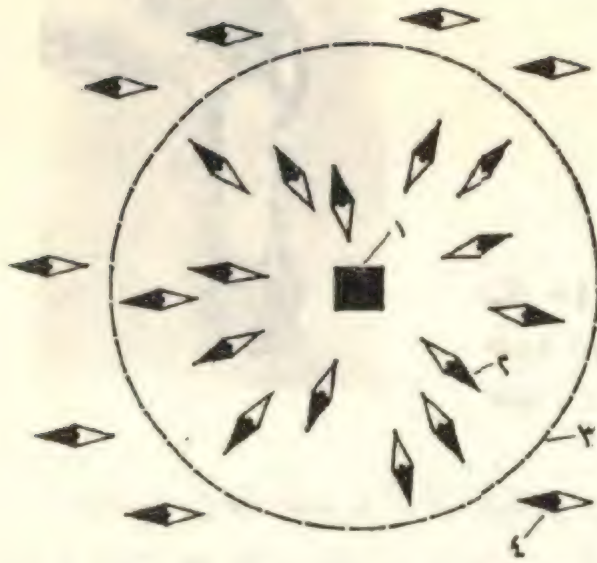
لبوصلة جبر وسكوبية .



شكل ٨١ : قطعة من المجنتيت تستخدم كبوصلة بدائية كانت أساسا لبوصلة الحديثة الجبر وسكوبية .

١ - حامة مجنتيت مربوط على قطعة من الخشب .

٢ - إناء خشبي مملوء بالماء ، ويسبح الحام المغناطيسي في الاتجاه بين الشمال والجنوب .



شكل ٩١ : هذا التوضيح يساعد في تبين المجال المغنطيسي

١ - مغنطيس .

٢ - إبرة مغنطيسية في نطاق مدى المجال المغنطيسي .

٣ - حدود المجال المغنطيسي .

٤ - إبرة مغنطيسية خارج نطاق مدى المجال المغنطيسي .

٢/٩ - المجالات المغنطيسية :

(١) تعريف مفهوم المجال المغنطيسي :

يستخدم الشكل (٩١) لإيضاح مفهوم المجال المغنطيسي . وفيه ترتب إبر مغنطيسية بحيث تتركز لتكون حرة الدوران ، على مسافات مختلفة حول مغنطيس .

وتوضع الإبر المغنطيسية في مستوى واحد معين (الشكل ٩١) وعلى أى حال ، فإنه يمكن وضع هذه الإبر فوق أو أسفل هذا المستوى المعين أيضا . ونلاحظ الظاهرة التالية : تنضبط جميع الإبر المغنطيسية بحيث تشير إلى المغنطيس ، وذلك في نطاق مسافة معينة منه ، وخارج هذا النطاق تنضبط الإبر المغنطيسية بحيث تكون في الاتجاه الشمالى - الجنوبى الأرضى .

ونحصل من ذلك على الخلاصة التالية : تؤثر القوى المغنطيسية الناتجة عن مغنطيس في نطاق حيز معين ، يطلق عليه « المجال المغنطيسي » .

والمجال المغنطيسي هو حيز تكون المغنطيسية فعالة في نطاقه ، بحيث توجد عند أى نقطة فيه قوة مغنطيسية .

وللأرض مجال مغنطيسى أيضا . ويوضح الترتيب الخاص للإبر المغنطيسية المبين في الشكل (٩١) الحقيقة بوجود مجالين مغنطيسيين ، المجال المغنطيسى للأرض والمجال المغنطيسى للمغنطيس .

(ب) خطوط المجال المغنطيسى ونماذج خطوط المجال :

لنمدر إمكانية مشاهدة حدود وقوى المجال المغنطيسى بطريقة مرضية ، نستخدم ما يسمى « بخطوط المجال المغنطيسى ونماذجها » ، وتعرف أيضا بخطوط الفيض المغنطيسى ، كوسيلة لتوضيح هذه الظاهرة .

ويساعد الشكلان (٩٢) ، (٩٣) في تفهم كيفية تكوين وتخييل صورة لخطوط المجال المغنطيسى . فبغمس قضيب مغنطيسى ، أو مغنطيس على هيئة حدود الحصان ، في كومة صغيرة من برادة الحديد ، يتعلق بالمغنطيس عدد كبير من البرادة بترتيب معين .

ولا ينطبق القطبان المغنطيسيان للكرة الأرضية على القطبين الجغرافيين تماما ، بل يوجد بينهما انحراف يؤخذ في الاعتبار عند تدريج البوصلة .
وتكون أقصى شدة للتأثير المغنطيسي عند قطبي المغنطيس .

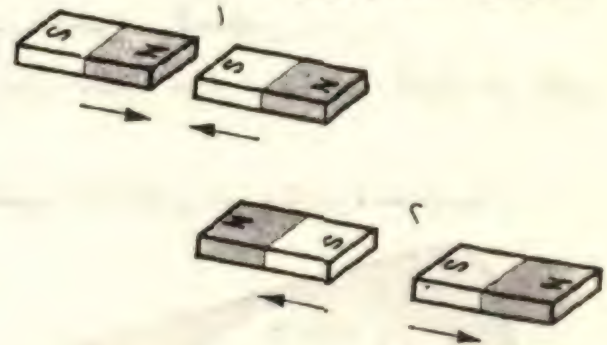
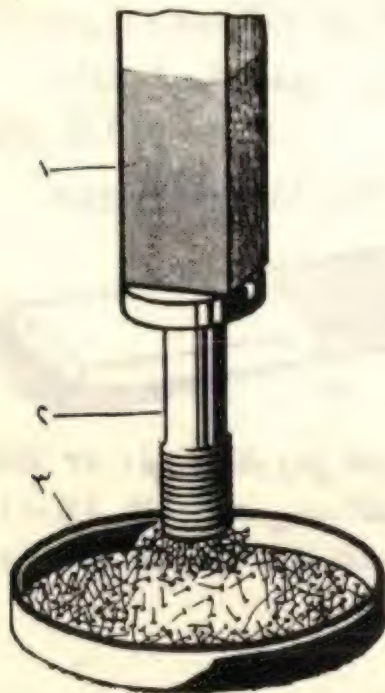
التجاذب والتنافر :

يبين الشكل (٨٥) قضيبا مغنطيسيا معلقا بحيث يكون حر الحركة ، ويقرب إليه مغنطيس آخر ، نلاحظ ما يلي :

بتقريب القطب الشمالي للقضيب المغنطيسي نحو القطب الجنوبي للمغنطيس المعلق ، يتحرك الأخير نحو القضيب المقرب إليه . وهذا يعني أنه عندما ما يواجه القطب الشمالي للمغنطيس القطب الجنوبي للمغنطيس آخر فإنهما يتجاذبان . ولكن عندما نقرب القطب الجنوبي للمغنطيس نحو القطب الجنوبي للمغنطيس المعلق ، يتحرك الأخير بعيدا عن المغنطيس المقرب . وهذا يعني أنه عندما يواجه قطب مغنطيسي قطبا مغنطيسيا آخر مشابهاً له في القطبية ، فإنهما يتنافران .
تتجاذب الأقطاب المغنطيسية المختلفة القطبية ، وتتنافر الأقطاب المغنطيسية التي لها نفس القطبية (قانون تأثير القوى المغنطيسية) .

الحث المغنطيسي :

لقد تم وصف الحث الكهربائي عند شرح الظاهرة الاستكاثيكية الكهربائية . ويحدث أيضا حث مغنطيسي كما هو موضح بالشكل ٨٦ . حيث يوضع قطب مغنطيسي فوق مجموعة دبابيس صغيرة ، على مسافة كبيرة ، بحيث لا تنجذب إليه . وإذا وضعنا على سبيل المثال ، مسبار مكتمل ملولب ، بين قطب المغنطيس والدبابيس ، يجذب اللولب الدبابيس الصغيرة ، بفرض أن المسافة بينهما تكون صغيرة بدرجة كافية . وإذا حركنا المغنطيس بعيدا عن اللولب ، نلاحظ سقوط الدبابيس المعلقة باللولب .



شكل ٨٥ : تجاذب وتنافر المغنطيسات :

- ١ - يتجاذب القطب الجنوبي والقطب الشمالي .
- ٢ - تتنافر الأقطاب التي لها نفس القطبية .

شكل ٨٦ : الحث المغنطيسي :

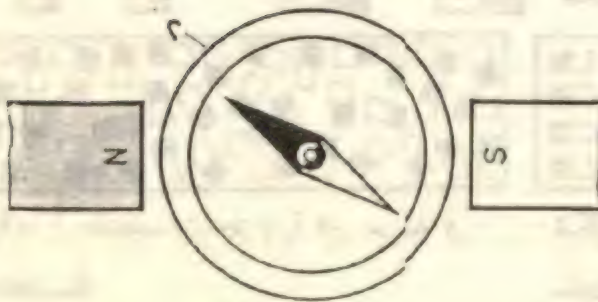
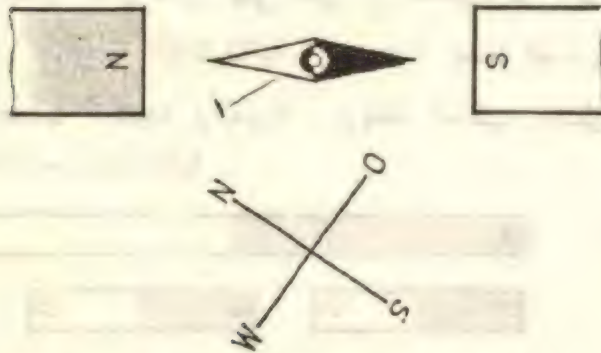
- ١ - قضيب مغنطيسي .
- ٢ - وعاء به دبابيس .
- ٣ - مسبار مكتمل ملولب .

(ج) الاستباقية :

إذا وضعنا بدلا من سمار المكينة الملولب ، المصنوع من الصلب ، قطعة أخرى من الحديد المطاوع (مادة حديدية غير مصلدة) ، في الحيزين القضيب المغنطيسي والدبابيس ، تلاحظ أيضا سقوط الدبابيس عند رفع المغنطيس ، بينما يكون لدى قطعة الحديد المطاوع القدرة على جذب برادة الحديد . ونحصل من ذلك على الخلاصة التالية : لا تتلاشى المغنطيسية كلية بإبعاد القضيب المغنطيسي المؤثر ، وإنما تكون هناك بقية صغيرة منها ، في الحديد المطاوع . وتسمى هذه الظاهرة « المغنطيسية المتبقية » أو « الاستباقية » . وقد أفادت هذه الظاهرة في تطوير صناعة المولدات الكهربائية فائدة كبيرة ، وسوف يأتي شرح هذا فيما بعد .

تأثير الحجب المغنطيسي :

لا تتجه إبرة مغنطيسية في اتجاه المغنطيسية الأرضية إذ وضعت بين قضبي مغنطيس ، ولكنها تتجه في اتجاه الشمال الجنوبي للقضيب المغنطيسي ، نظرا لأن الأخير يحدث قوة أكبر على الإبرة من قوة المغنطيس الأرضي . وبوضع حلقة من الحديد المطاوع بين قطبي المغنطيس ، وإبرة مغنطيسية داخل هذه الحلقة ، نجد أن الإبرة تأخذ اتجاه الشمال الجنوبي للمغنطيس الأرضي . ويتضح أنه ليس للمغنطيس أى تأثير مغنطيسي داخل حلقة الحديد المطاوع . ويطلق على هذه الظاهرة « تأثير الحجب المغنطيسي » ، وتستغل هذه الظاهرة في البوصلات المستخدمة في السفن . وعادة ما يدخل في صناعة هذه السفن ، كميات كبيرة من الصلب ، مما يؤثر على انضباط الإبرة المغنطيسية . ولهذا السبب تحجب الإبرة المغنطيسية لضمان الضبط الصحيح لها في اتجاه الشمال الجنوب . ويوضح الشكل (٨٧) تأثير الحجب المغنطيسي .



شكل ٨٧ : بيان تأثير الحجب المغنطيسي

- ١- تتجه الإبرة المغنطيسية في اتجاه الأقطاب الموضوعة بينها .
- ٢- إذا وضعت حلقة من الحديد المطاوع بين الأقطاب ، فإن الإبرة تتجه في الاتجاه الشمال - الجنوبي الأرضي .

(د) النظرية الجزيئية للمغناطيسية :

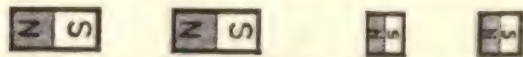
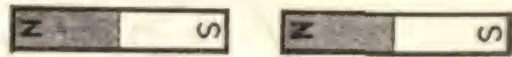
في مجال دراسة اظواهر المغناطيسية ، كان لابد من البحث عن إجابات لعدد من الأسئلة ، فعلى سبيل المثال ، يوجد دائماً قطبان مختلفا القطبية في المغنطيس ، ولا يوجد مغنطيس بقطب واحد . ولماذا يكون للمغناطيسات الصلب (والمغناطيسات الخزفية) مغناطيسية دائمة ، بينما تحتفظ المغناطيسيات من الحديد المطاوع بمغناطيسية استبقائية فقط ؟ . مثل هذه الأسئلة ، يمكن الإجابة عليها بفرض أن المواد المغناطيسية تتكون من مغناطيسيات متناهية في الصغر تسمى « مغناطيسيات جزيئية » .

يوضح الشكل (٨٨) كيفية تكوين هذا المفهوم . بتقسيم قضيب مغنطيس عند المنطقة المحايدة ، نحصل على قضيبين مغناطيسيين ، لكل منهما قطب جنوبي واحد وقطب شمالي واحد . ويمكن الاستمرار في هذا التقسيم ، وأصغر ما نحصل عليه ، يكون عبارة عن مغنطيس بقطب جنوبي وقطب شمالي .

ويفترض أنه حتى مثل هذه الأجزاء الصغيرة التي لا يمكن قطعها من المغنطيس بأدوات القطع العادية ، تظل مغناطيسات ، وبمعنى آخر تكون أصغر أجزاء المواد المغناطيسية مغناطيسات . وحيث أنه يطلق على الأجزاء الصغيرة من المادة جزيئات ، فيطلق على هذه المغناطيسات الصغيرة « المغناطيسات الجزيئية » .

ويفترض أيضا أن المغناطيسات الجزيئية في أى مادة مغناطيسية بعيدة عن التأثير المغناطيسي تكون في أوضاع غير مرتبة وبغير اتجاه مفضل (الشكل ٨٩) .

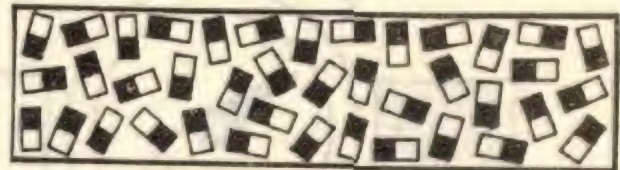
وعند مغنطة هذه المواد المغناطيسية مثلا ، بذلك نصيب مغناطيسي ، ترتب المغناطيسات الجزيئية نفسها بالطريقة المبينة بالشكل (٩٠) . وبمغنطة الحديد المطاوع ، يفقد مغناطيسيته بعد وقت قصير ، ولكن يبقى قليل من المغناطيسات الجزيئية به في حالة مرتبة . وهذا هو سبب حدوث ظاهرة الاستبقائية . وعندما يمحط الصلب بتحول إلى مغنطيس . ويرجع ذلك إلى بنية الصلب الكثيفة والقوية . ويفقد الصلب مغناطيسيته إذا تعرض لاهتزازات عنيفة ، أو درجات حرارة عالية .



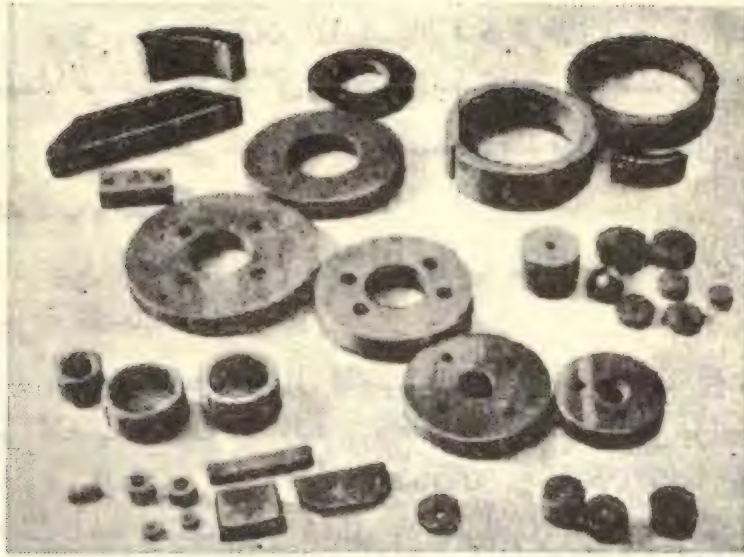
شكل ٨٨ : تقسيم المغناطيسات .



شكل ٩٠ : مغناطيسات جزيئية مرتبة في مادة مغناطيسية



شكل ٨٩ : مغناطيسات جزيئية غير مرتبة في مادة مغناطيسية



شكل ٨٢ : مغنطيسات خزفية
(VEB Keramische Werke
Hermsdorf, GDR)

(ب) المغنطيسات الصناعية :

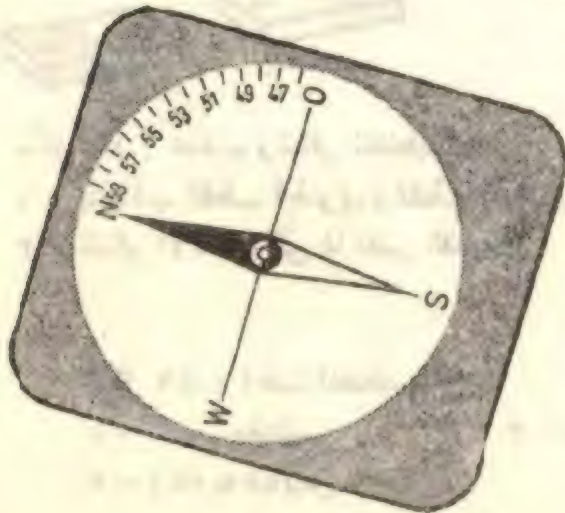
لم يعد للمجنيثية أهمية عملية في هذه الأيام . حيث استخدم بدلا منه مغنطيسات صناعية من الصلب وسبائكه وكذلك مغنطيسات خزفية . ويمكن تصنيع الأخيرة في أى شكل مطلوب كما في الشكل (٨٢) .

ونبدأ هنا بإيضاح بضعة مفاهيم خاصة بالمغنطيسية ، وذلك باستخدام قضيب مغنطيسي على سبيل المثال :

الأقطاب :

يبين الشكل (٨٣) قضيبا مغنطيسيا موضوعا على برادة حديد ناعمة . ونلاحظ أن الغالبية العظمى من هذه البرادة تتعلق بنهايتي القضيب ، ويطلق على هاتين النهايتين « القطبان » . ولا تتعلق برادة الحديد حول مركز القضيب ، ويطلق على هذا الجزء من القضيب « المنطقة المحايدة » للمغنطيس . ويجب التمييز بين القطب الشمالى والقطب الجنوبى للمغنطيس . وتشتق تسمية القطبين من توجيه مغنطيس يعلق تعلقا حرا ، فالقطب الشمالى هو الذى يشير إلى الشمال الجغرافى .

وبين الشكل (٨٤) بوصلة جيب بسيطة ، قضيبها المنطيسي على هيئة إبرة مغنطيسية .



شكل ٨٣ : توزيع القوى على قضيب مغنطيسي .

- ١ - تؤثر القوى العظمى عند القطبين .
- ٢ - تأثير القوى في المنطقة المحايدة غير ملحوظ .

شكل ٨٤ : بوصلة في وضع اتجاه الشمال - الجنوب .



شكل ٩٢ : قضيب مغنطيسي
معلق به برادة حديد .



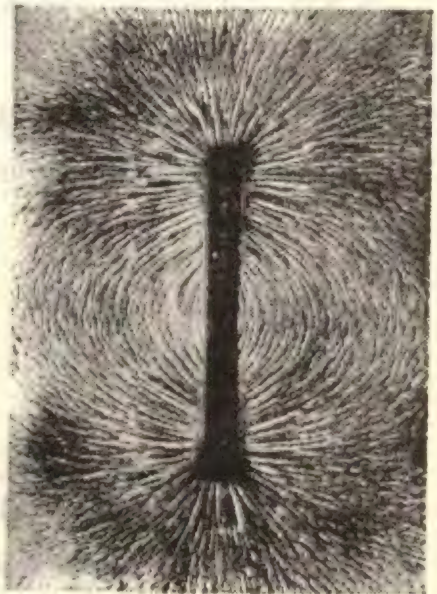
شكل ٩٣ : مغنطيس على هيئة
حدوة الحصان معلق به برادة
حديد .

ويتضح من هذه التجربة أن كمية قليلة من البرادة تتعلق بالقضيب المغنطيسي في المنطقة المحايدة منه ، بينما توجد القوى العظمى عند قطبي مغنطيس حدوة الحصان ، ويوضح الشكلان التأثير الخاص بالمغنطيسية .

ويمكن إيضاح خطوط الفيض المغنطيسي بطريقة أحسن ، وذلك بواسطة لوح من الزجاج مغطى ببرادة الحديد . وبوضع مغنطيس فوق هذا اللوح ، والدق على اللوح دقا خفيفا ، تنظم الأجزاء نفسها بترتيبة معينة مبينة خطوطا للفيض المغنطيسي على هيئة خطوط متقاربة نوعا . ويوضح الشكلان (٩٤) ، (٩٥) نموذجين لخطوط الفيض المغنطيسي .



شكل ٩٤ : تشكيل المجال المغنطيسي
لقضيب مغنطيسي يمكن مشاهدته
بمساعدة برادة الحديد .



شكل ٩٥ : تشكيل المجال المغنطيسي
لمغنطيس على هيئة حدوة الحصان
يمكن مشاهدته بمساعدة برادة الحديد .

ويستخلص من ذلك ما يلي :

خطوط الفيض المغنطيسي هي خطوط مغلقة وتمتد من القطب الشمالى إلى القطب الجنوبى للمغنطيس . وتبين نماذج خطوط الفيض شكل المجال المغنطيسى .

٣/٩ - الظاهرة المغنطيسية الكهربائية :

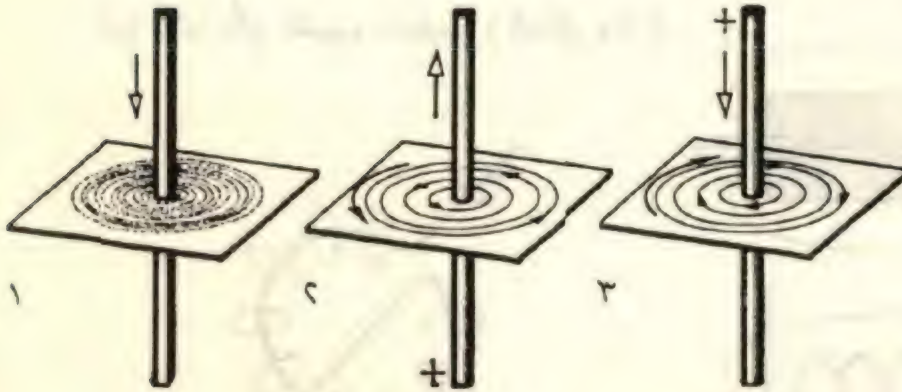
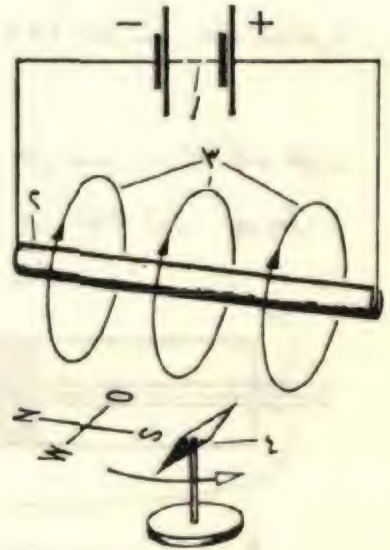
شرحنا فى الفصل الأول من هذا الكتاب التأثير المغنطيسى للتيار الكهربائى ، وكان أورستد Oersted الفيزيائى الدانمركى أول من اكتشف الظاهرة المغنطيسية الكهربائية . حيث لاحظ فى عام ١٨٢٠ انحراف البوصلة المغنطيسية الموضوعة على محور ارتكاز عن اتجاه الشمال - الجنوب ، إذا وضعت قريبا من موصل مستقيم يحمل التيار الكهربائى . وأوضحت التجارب التى أجراها أورستد تكوين مجالات مغنطيسية حول الموصلات الحاملة للتيار الكهربائى .

(١) المجال المغنطيسى للموصل المستقيم الحامل للتيار الكهربائى :

يبين الشكل (٩٦) ترتيب الاختبار التى يحتمل أن يكون قد استخدمها أورستد . ويبين اتجاه الإبرة المغنطيسية اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى حول الموصل الحامل للتيار الكهربائى . ويعتمد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى على اتجاه التيار الكهربائى ، ويمكن إثبات ذلك أيضا بمساعدة الإبرة المغنطيسية .

شكل ٩٦ : تحديد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى حول الموصل الحامل للتيار الكهربائى :

- ١ - مصدر للجهد .
- ٢ - موصل .
- ٣ - خطوط الفيض واتجاهها .
- ٤ - الإبرة المغنطيسية المنحرفة .



شكل ٩٧ : هذا التوضيح يساعد فى تبين العلاقة بين اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى واتجاه التيار الكهربائى

- ١ - خطوط المجال حول الموصل الحامل للتيار الكهربائى .
- ٢ - اتجاه خطوط المجال .
- ٣ - اتجاه خطوط المجال بعد عكس اتجاه التيار .

ويبين الشكل (٩٧) ترتيب اختبار بها موصل يخترق لوحا من الزجاج مغطى ببرادة الحديد الناعمة . وعند إمرار تيار كهربائي بالموصل ، بالدق الخفيف على لوح الزجاج ، ترتب برادة الحديد نفسها طبقا لخطوط الفيض مكونة نموذجا نوعيا للمجال المغنطيسي للموصل . وتبين الإبر المغنطيسية الموضوعة على لوح الزجاج اتجاه الفيض . وعند عكس القطبية في هذه الترتيب (وذلك بجعل التيار الكهربائي يمر في عكس اتجاهه الأول) ، ينعكس أيضا اتجاه الفيض . ويمكن بسهولة تحديد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسي التي تعتمد على اتجاه التيار الكهربائي ، وذلك بمساعدة القاعدتين التاليتين .

قاعدة اللولب :

عند ربط مسبار ملولب يميني إلى أسفل في اتجاه سريان التيار الكهربائي ، فإن اتجاه دورانه يبين اتجاه الفيض المغنطيسي .

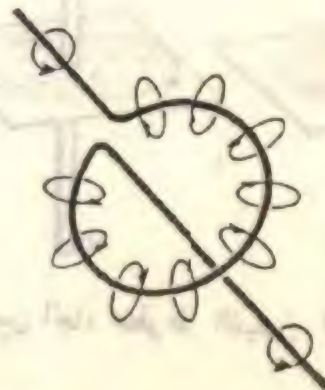
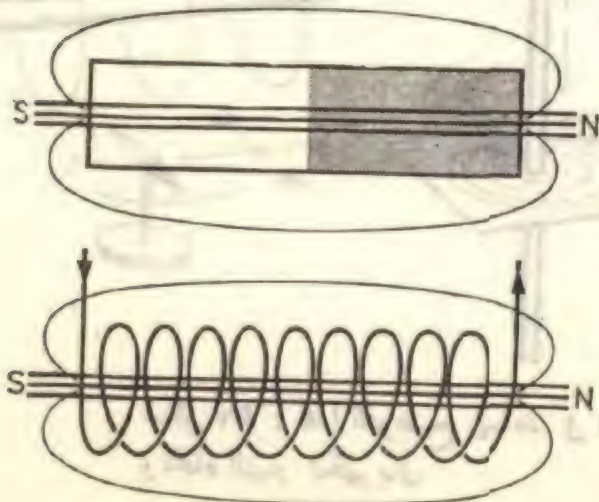
قاعدة الإبهام :

عند القبض على موصل حامل للتيار باليد اليمنى ، بحيث يشير إصبع الإبهام إلى اتجاه سريان التيار ، تبين أطراف الأصابع اتجاه خطوط الفيض المغنطيسي .

(ب) المجال المغنطيسي لملف حامل للتيار الكهربائي :

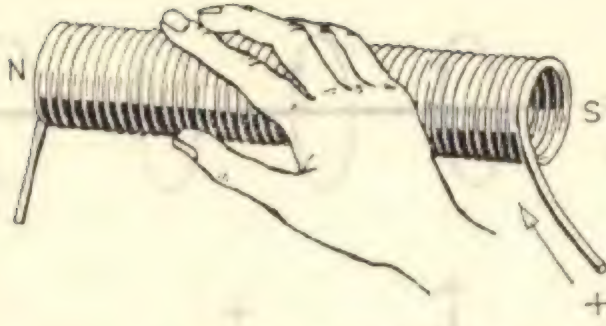
عند ثني موصل مستقيم لتكوين حلقة دائرية ، يحدث تراكب للمجالات المغنطيسية لهذا الموصل ، نتيجة لمرور التيار الكهربائي خلاله . ويبين الشكل (٩٨) حدوث هذه الظاهرة على حلقة أو لفيفة واحدة .

وبوضع عدة لفيفات من موصل بجانب بعضها البعض ، نحصل على ملف . وإذا كان طول هذا الملف كبيرا بالنسبة لقطره ، نلاحظ أن تأثير هذا الملف عندما يمر خلاله تيار كهربائي ، يشبه تماما تأثير قضيب مغنطيسي (الشكل ٩٩) .



شكل ٩٩ : المجالات المغنطيسية لقضيب مغنطيسي وملف حامل للتيار الكهربائي .

شكل ٩٨ : تراكب المجالات المغنطيسية في ملف حامل للتيار الكهربائي .



شكل ١٠٠ :

ويمكن بسهولة معرفة قطبية الملف الحامل للتيار بمساعدة القاعدتين التاليتين :

قاعدة عقرب الساعة :

عند النظر إلى فتحة ملف ، يكون طرف الملف المواجه للناظر هو القطب الجنوبي إذا مر التيار عبر الملف في اتجاه حركة عقارب الساعة ، ويكون هو القطب الشمالي إذا مر التيار في اتجاه عكس حركة عقارب الساعة .

قاعدة الإبهام (الشكل ١٠٠) :

عند القبض على ملف باليد اليمنى ، بحيث تشير أطراف الأصابع لاتجاه سريان التيار بالملف ، يبين الإبهام الممتد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسي داخل الملف ، ويبين طرف الإبهام موضع القطب الشمالي .

(ج) القوى المؤثرة بين الموصلات والملفات الحاملة للتيار الكهربائي :

بالإضافة إلى ما سبق شرحه بالنسبة لتأثير المجالات المغنطيسية للموصلات والملفات الحاملة للتيار الكهربائي على نبائط مثل الإبر المغنطيسية ، يفرض البحث نفسه لإيجاد التأثير المتبادل بين المجالات المغنطيسية للموصلات والملفات الحاملة للتيار الكهربائي .

التجاذب والتنافر بين الموصلات المتوازية :

تستخدم هذه الطريقة بكثرة لبيان اتجاه التيار في موصل . ويبين الشكل (١٠١) قطعتين من موصلين ، ويوضح اتجاه التيار في كل منهما بسهم مواز لهما . وعند النظر إلى المقطع المستعرض للموصل يظهر رأس السهم على هيئة نقطة ، في هذه الحالة يكون اتجاه التيار نحو الناظر . وإذا كان سريان التيار في اتجاه عكسي ، تظهر مؤخرة السهم على هيئة صليب عند مقطع الموصل .



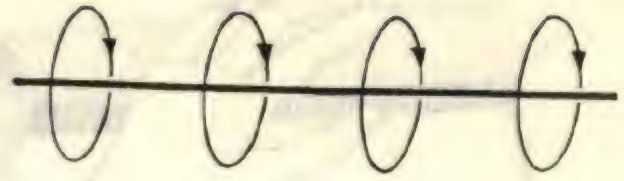
شكل ١٠١ : إيضاح لاتجاه التيار في الموصلات.

١ - قطعتان لموصلين وموضح عليهما اتجاه سريان التيار .

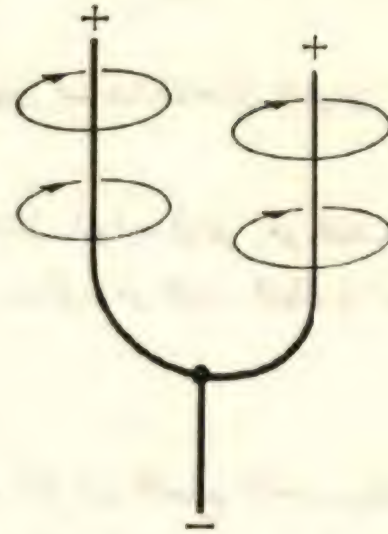
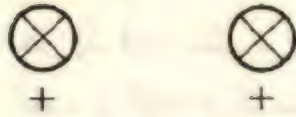
٢ - يسرى التيار في اتجاه الناظر .

٣ - يسرى التيار في الاتجاه العكسي للناظر .

شكل ١٠٢ : موصل مستقيم وعليه خطوط المجال المغنطيسي :



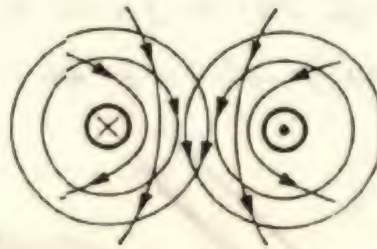
شكل ١٠٣ : موصل بشكل حرف U .



شكل ١٠٤ : تمثيل للمجال المغنطيسي لموصلين متوازيين يحملان التيار في نفس الاتجاه .

وبين الشكل (١٠٢) موصلًا كهربائيًا وخطوط المجال المغنطيسي تحيط به . وبشي هذا الموصل كما في الشكل (١٠٣) ، يكون الفيض المغنطيسي كما هو مبين في الشكل (١٠٤) . وباستخدام موصلين من النوع المرن بدلا من النوع اصلد ، يحدث تجاذب متبادل بينهما عند مرور تيار بشدة كافية خلالهما (الشكل ١٠٥) .

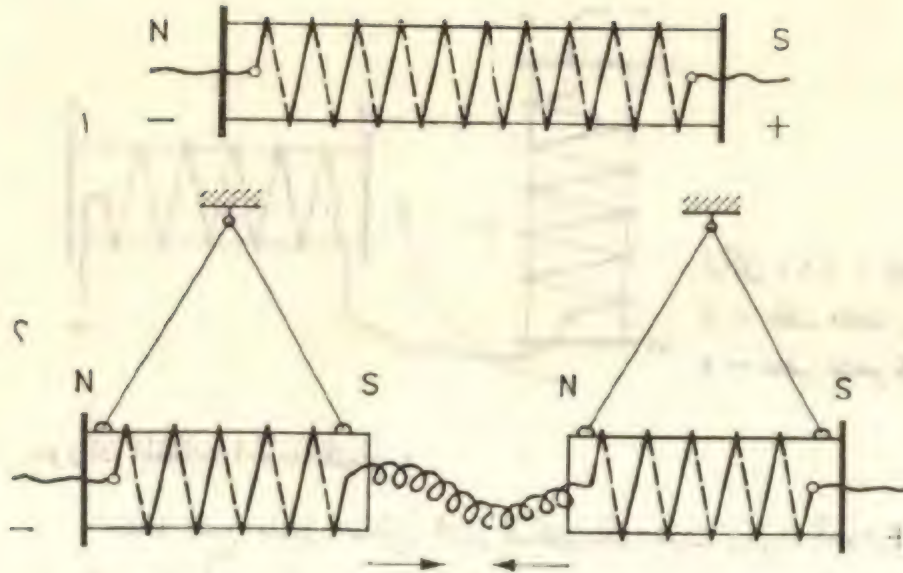
وعندما يمر التيار عبر الموصلين المتوازيين في اتجاه يصاد أحدهما الآخر ، تكون خطوط الفيض النموذج المبين بالشكل (١٠٦) . وعندما تمر التيارات الكهربائية عبر الموصلات في اتجاه يصاد أحدهما الآخر يتنافر الموصلان مع بعضهما البعض .



شكل ١٠٧ : التنافر المتبادل بين موصلين متوازيين حاملين للتيار الكهربائي .

شكل ١٠٦ : تشكيل المجال للمغنطيسي حول موصلين متوازيين حاملين للتيار في اتجاهين متضادين .

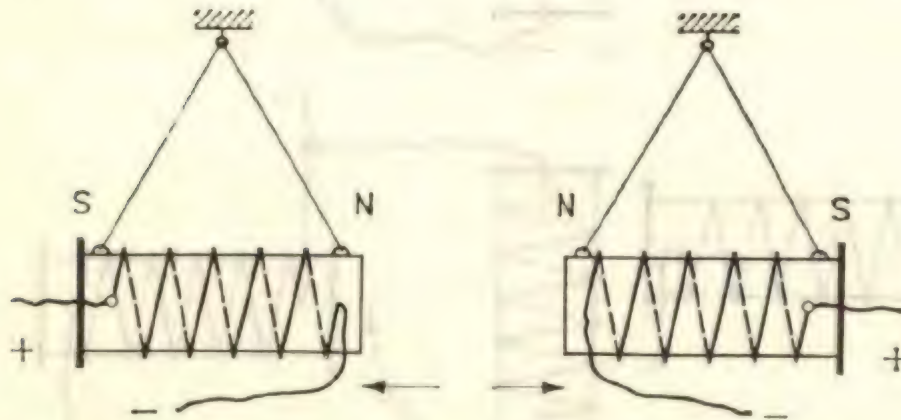
شكل ١٠٥ : تجاذب موصلين متوازيين حاملين للتيار الكهربائي .



١ - ملف طويل ومبين عليه اتجاه التيار وقطبيه .
٢ - نصف ملف حامل للتيار في نفس الاتجاه .

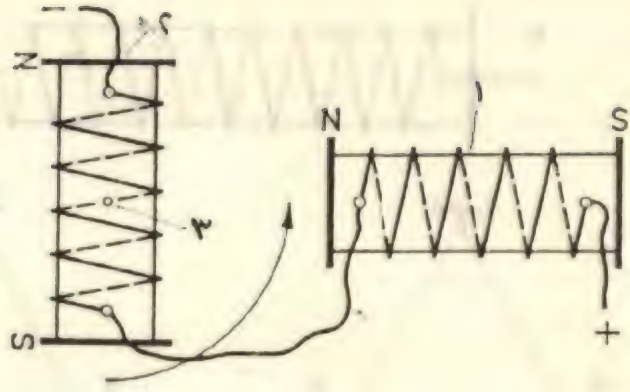
التجاذب والتنافر بين الملفات الحاملة للتيار الكهربائي :

بمقارنة تصرف الملفات الحاملة للتيار الكهربائي بالقضبان المغناطيسية يتضح وجود تشابه بينهما من حيث المجال المغناطيسي والقطبية . ويؤدي هذا إلى حدوث نفس الظاهرة التي تلاحظ عند تقسيم قضبان المغناطيسات ، وذلك عند تقسيم الملفات . وكما سبق ذكره ، فإن تقسيم القضيب المغناطيسي إلى قسمين ينتج عنه مغناطيسين بقطبية عكسية عند مستوى المقطع ، ولذلك فإنهما يتجاذبان بعد التقسيم . وينطبق هذا تماما على الملفات الحاملة للتيار الكهربائي ، كما هو مبين بالشكل (١٠٨) . وينقسم الملف (١) إلى النصفين المعلقين والموصلين بالريقة الموضحة في (٢) . وبإمرار التيار الكهربائي عبر هذه الترتيبة ، يتجاذب الملفان ، ولكنهما يتنافران عند عكس اتجاه التيار في أحدهما (الشكل ١٠٩) .



شكل ١٠٩ : تنافر متبادل لملفين حاملين لتيارين في اتجاهين متضادين .

شكل ١١٠ : دوران الملفات الحاملة للتيار :
 ١ - ملف مثبت .
 ٢ - ملف متحرك .
 ٣ - محور ارتكاز .



دوران الملفات الحاملة للتيار :

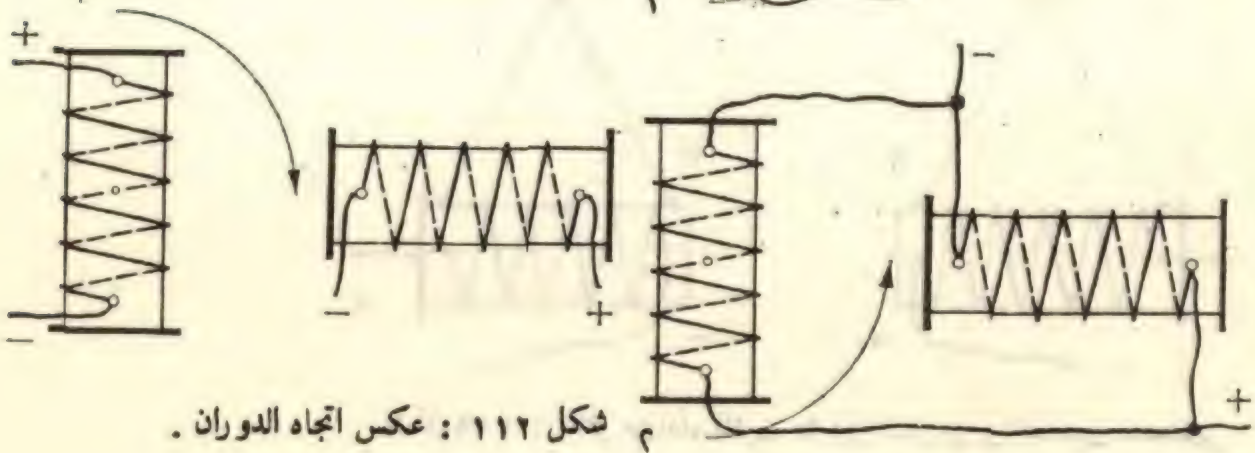
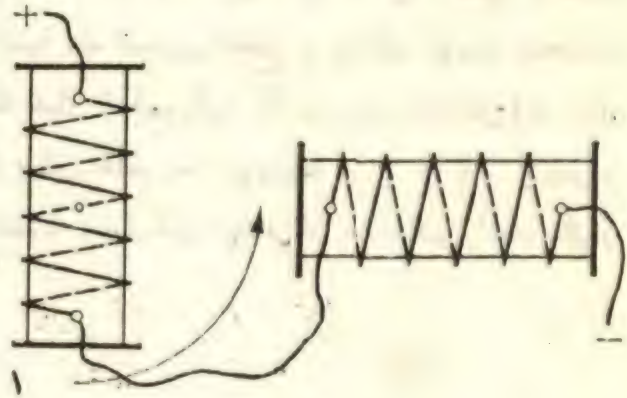
عندما نضع ملفين حاملين للتيار الكهربائي، بحيث يكون أحدهما مرتكزا بطريقة يكون فيها
 حر الدوران أمام الآخر ، نجد أن الملف الحر الدوران يتصرف كما هو مبين بالشكل (١١٠) .

وبإمرار التيار عبر هذه الترتيبة ، يدور الملف القابل للدوران ، حتى يصبح قطبه الجنوبي
 مقابلا للقطب الشمالي للملف الثابت . ويكون اتجاه اللف لكلا الملفين واحدا . ونحصل على نفس
 اتجاه الدوران بعكس التيار الكهربائي المار عبر كلا الملفين ، أو بمعنى آخر ، بعكس القطبية
 (الشكل ١١١ - ١) . ونحصل أيضا على نفس اتجاه الدوران كما في الحالتين السابقتين بتوصيل
 الملفين على التوازي كما في الشكل (١١١ - ٢) .

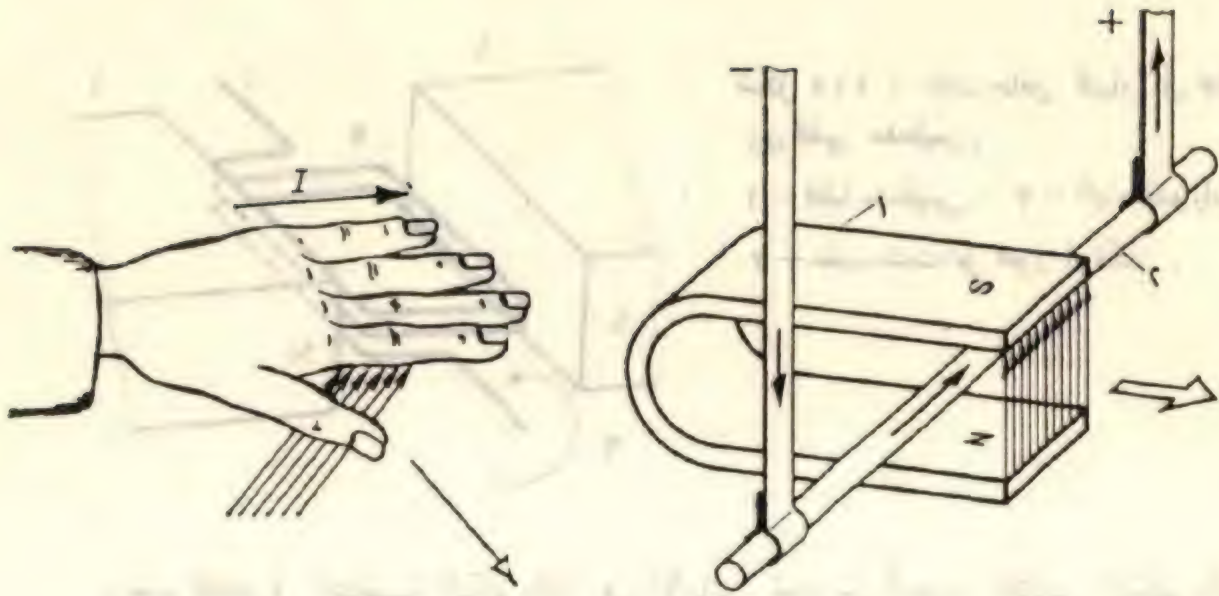
ونحصل على عكس اتجاه الدوران بتوصيل الملفين كما هو مبين بالشكل (١١٢) .

شكل ١١١ : اتجاه الدوران للملفات الحاملة
 للتيار الكهربائي :

١ - اتجاه الدوران لا يتغير بتغيير اتجاه التيار .
 ٢ - اتجاه الدوران لا يتغير كذلك بتوصيل الملفين
 على التوازي .



شكل ١١٢ : عكس اتجاه الدوران .



شكل ١١٣ : موصل حامل للتيار في المجال المغنطيسي شكل ١١٤ : توضيح لقاعدة اليد اليسرى .
لمغنطيس على هيئة حدوة الحصان :

١ - مغنطيس حدوة الحصان . ٢ - موصل متحرك .

وتستغل هذه الظاهرة في آلات الحركة الديناميكية الكهربائية ، حيث يكون انحراف المؤشر المثبت في الملف المتحرك ، هو قياس للكية الكهربائية . وسيرد فيما بعد وصف تفصيل لهذه النماط .

(د) الملفات والموصلات الحاملة للتيار الكهربائي في مجال مغنطيسي :

والسؤال الذي يطرح نفسه ، هو كيفية تصرف الوصلات والملفات الحاملة للتيار في المجالات المغنطيسية التي تنتجها المغنطيسيات الصناعية (المغنطيسات الدائمة) .
الموصلات الحاملة للتيار الكهربائي في مجال مغنطيسي :

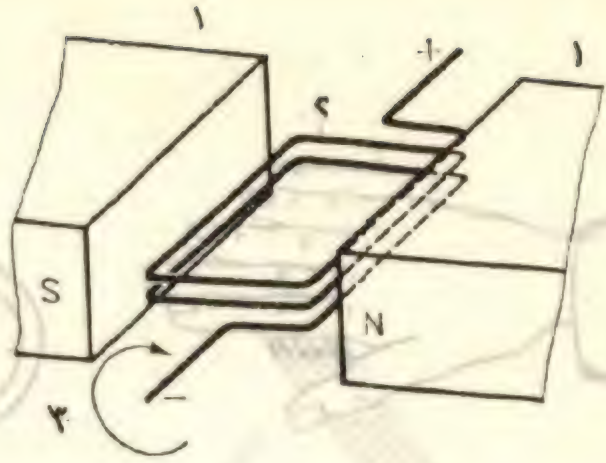
يبين الشكل (١١٣) موصلا حاملا للتيار في مجال مغنطيسي لمغنطيس على هيئة حدوة الحصان .
عندما يحمل الموصل التيار ، فإنه يدفع خارج المجال المغنطيسي (ينحرف) . ولإيضاح ذلك ، يعلق الموصل بشريحتي توصيل . ويلاحظ أن هناك علاقة متبادلة بين اتجاه التيار ، ووضع المجال المغنطيسي ، واتجاه الانحراف ، وذلك عند إمرار تيار ذي شدة كافية عبر الترتيبة .
ويعبر عن هذه العلاقة بالطريقة التالية المعروفة بقاعدة اليد اليسرى :

إذا كانت خطوط الفيض المغنطيسي تخترق راحة اليد ، بينما تشير أطراف الأصابع إلى اتجاه التيار الكهربائي ، فإن الإبهام الممتد يشير إلى اتجاه الانحراف .
الملف الحامل للتيار في مجال مغنطيسي :

يبين الشكل (١١٥) ملفا حاملا للتيار في مجال مغنطيسي على هيئة حدوة الحصان .

يدور الملف عندما يمر عبره تيار كهربائي بشدة كافية . ويمكن معرفة اتجاه الدوران بمساعدة قاعدة اليد اليسرى .

- شكل ١١٥ : ملف حامل للتيار في مجال
بين قطبي مغنطيس .
١ - قطبا مغنطيس . ٢ - اتجاه الدوران .
٣ - ملف مثبت على محور ارتكاز .



وهذه الظاهرة المغنطيسية الكهربائية هي الأساس لعدد من أجهزة القياس الكهربائية والمحركات الكهربائية التي ستناقش في أقسام مستقلة من الكتاب .

٤/٩ - كميات لتحديد قيمة المجالات المغنطيسية :

(أ) الموصلية المغنطيسية - النفاذية :

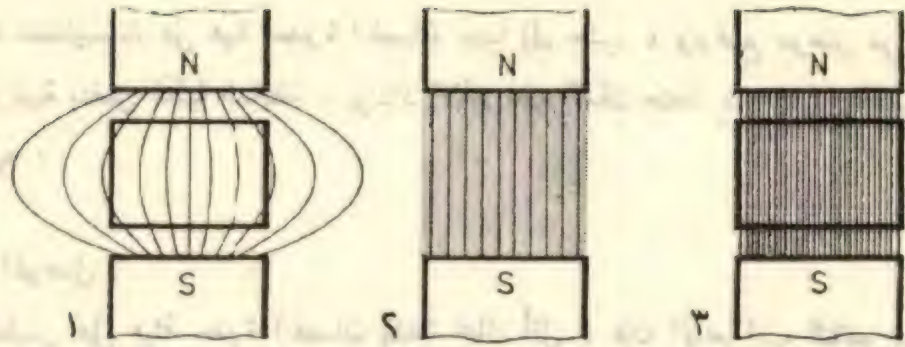
عندما نضع مغنطيسا صغيرا في مجال مغنطيسي يحدث تأثير ديناميكي يجذب أو يبعد هذا المغنطيس ، ويعتمد ذلك على وضع المغنطيس بالنسبة للمجال المغنطيسي . ويمكن قياس مثل هذا التأثير الديناميكي على سبيل المثال بواسطة ميزان زنبركي . ويمكن للمجالين مغنطيسيين لهما نفس المدى أن يحدثا تأثيرين ديناميكين مختلفين على مغنطيس صغير جدا . وهناك عدة أسباب لهذه الظاهرة نشرحها فيما يلي :

يكون للمجال المغنطيسي الذي يحدث قوة أكبر على مغنطيس ، خطوط مغنطيسية للفيض « كثافتها أعلى » من المجال الآخر الذي له نفس المدى والذي يحدث قوة أقل على هذا المغنطيس . وتعتمد كثافة خطوط المجال المغنطيسي على نوع المادة التي يحدث فيها هذا المجال . وتسمى خاصية المادة التي تؤثر على كثافة خطوط المجال المغنطيسي « الموصلية المغنطيسية » أو « النفاذية » ويرمز لهذه الكمية بالرمز μ (ميو) .

(ب) المواد الدايا مغنطيسية والبارا مغنطيسية :

النفاذية لمادة ما هي عدد يعبر عن انحراف الموصلية المغنطيسية لهذه المادة عن تلك الخاصة بالهواء ($\mu = 1$) .

فالمواد التي تؤثر على المجال المغنطيسي فتقلل كثافة خطوط المجال المغنطيسي (مثل البزموت والنحاس الأحمر والانتيمون والذهب) تسمى « مواد ديا مغنطيسية » ونفاذيتها $\mu = 1$.
وأما المواد التي تؤثر على المجال المغنطيسي فتزيد من كثافة خطوط المجال المغنطيسي (مثل



شكل ١١٦ : المواد الدايا مغنطيسية والبارا مغنطيسية :

١ - تشكيل للمجال المغنطيسي في وسط دايا مغنطيسي .

٢ - تشكيل للمجال المغنطيسي في الهواء كوسط .

٣ - تشكيل للمجال المغنطيسي في وسط بارا مغنطيسي .

الألومنيوم والبلاتين وفي نطاق مدى معين لدرجة الحرارة (الحديد والصلب والكوبلت والنيكل) ، فتسمى « مواد بارا مغنطيسية » ونفاذيتها $\mu < 1$ (الشكل ١١٦) .

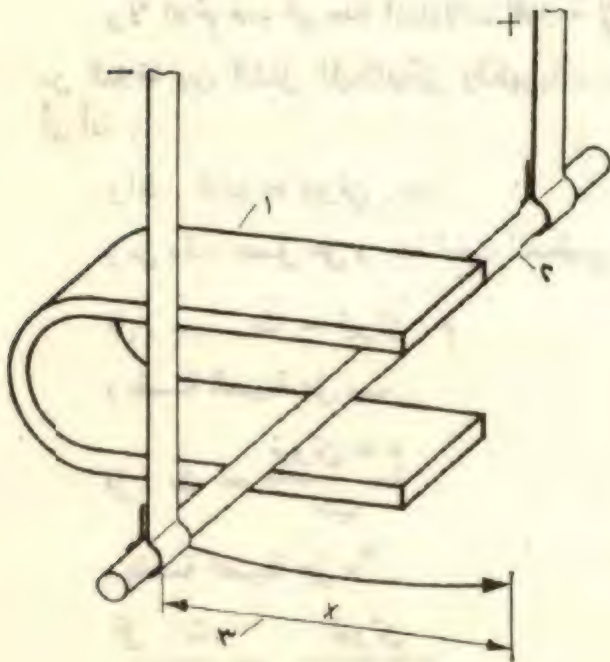
(ح) الحث المغنطيسي :

الكثافة الكلية لجميع خطوط المجال المغنطيسي تسمى كثافة الفيض المغنطيسي . وهناك علاقة بين الحث المغنطيسي والوحدة الميكانيكية للقوة (ق) وشدة التيار الكهربائي (ت) ، وتوضح هذه العلاقة بالاختبار التالي : يبين الشكل (١١٧) موصلا من نوع القضيب ، معلقا حرا في المجال المغنطيسي لمغنطيس على هيئة حدوة الحصان . وعند إمرار تيار كهربائي (ت) عبر هذا الموصل ، فإنه ينحرف بعيدا عن المجال المغنطيسي . والقوة (ق) التي تؤثر على الموصل تميز بطول هذا الانحراف (س) . وعلى هذا فإن :

ق \propto س

ويقل الانحراف عند تخفيض شدة التيار المار عبر الموصل ، ويزيد هذا الانحراف بازدياد شدة التيار . وعليه يتضح أن القوة (ق) تتناسب طرديا مع شدة التيار (ت) . أي أن :

ق \propto ت



شكل ١١٧ : الحث المغنطيسي :

١ - مغنطيس على هيئة حدوة الحصان .

٢ - موصل قابل للحركة .

٣ - انحراف (س) نتيجة إمرار التيار .

وبترتيب عدة مغنطيسات على هيئة حدود الحصان جنبا إلى جنب ، ووضع موصل من نوع القضيبي في هذه الترتيبية بنفس الكمية السابقة ، يزداد الانحراف كذلك عندما يمر التيار الكهربائي عبر هذه الترتيبية عليه :

ق α ل

حيث ل طول الموصل .

وباستعمال مغنطيس على هيئة حدود الحصان بشدة مجال أقل ، فإن الانحراف الناتج يكون أصغر ، وذلك بإمرار نفس شدة التيار (ت) ، ويكون للموصل نفس الطول كما في الترتيبية السابقة .

وإذا كانت شدة المجال المغنطيسي المستعمل في هذه التجربة أعلى ، فإن الانحراف الناتج (س) ، يزداد تحت نفس الظروف بالنسبة لشدة التيار وطول الموصل (ت ، ل) كما في التجربة السابقة .

وبإدخال شدة المجال المغنطيسي في هذه العلاقة : ق α ت \times ل نحصل على هذه الصيغة :

ق = ف \times ت \times ل حيث ف (B) هو الحث المغنطيسي . وبحل هذه الصيغة لإيجاد ف م ينتج :

$$\frac{ق}{ت \times ل} = (ف م)$$

ونحصل على الوحدة التالية ، إذا عبر عن (ق) باليوتن ، وشدة التيار (ت) بالأمبير (مب) والطول ل بالمتر (م) .

$$\frac{\text{نيوتن}}{\text{مب} \times \text{م}} = ف م$$

ولا تلائم هذه الوحدة المعادلات اللازمة لإيجاد قيم المجال المغنطيسي . وقد اشتقت وحدة أخرى من العلاقة بين الشغل الميكانيكي والكهربائي ، كما هو معروف في نظام الوحدات المستخدمة هنا أي أن :

واط . ثانية = نيوتن . متر

ومن ذلك نحصل على وحدة الحث المغنطيسي ف م

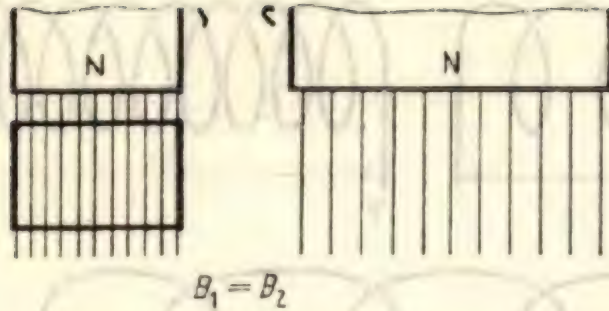
فل . مب . ث = نيوتن . م

وبقسمة الصيغة على مب .

$$\frac{\text{نيوتن} \times \text{م}}{\text{مب}} = \text{فل . ث}$$

وبقسمة الصيغة على م^٢ .

$$\frac{\text{فل . ث}}{\text{م}^2} = \frac{\text{نيوتن}}{\text{مب} \times \text{م}}$$



شكل ١١٨ : إيضاح الفيض المغنطيسي :

١ - عدد كبير من خطوط المجال المغنطيسي

في وحدة المساحة .

٢ - عدد أصغر من خطوط المجال المغنطيسي

في وحدة المساحة .

$$\frac{\text{نيوتن}}{\text{أمبير} \times \text{متر}} = \frac{\text{فلط} \times \text{ثانية}}{\text{متر مربع}}$$

ف (B) لها نفس القيمة في كلتا الحالتين :

وتكتب أيضا الوحدة ($\frac{\text{فل} \cdot \text{ث}}{\text{م}^2}$) للحث المغنطيسي ف_م لأنه يطلق على « فلط . ثانية »

المصطلح « وبر » نسبة إلى عالم الطبيعيات وبر (Weber) .

وكثافة المجال المغنطيسي هي الحث المغنطيسي (ف_م) ووحدته $\frac{\text{وبر}}{\text{م}^2}$

(د) الفيض المغنطيسي :

اعتبرنا حتى الآن الحث المغنطيسي بصرف النظر عن الحيز الذي يشغله المجال المغنطيسي . وعموما فإنه ليس لهذا الحيز أهمية كبيرة في الهندسة الكهربائية ، بل الأهم هو مساحة مسار الفيض والتي تمر خلالها خطوط الفيض المغنطيسي عموديا عليها .

ويوضح الشكل (١١٨) مجالين مغنطيسيين لهما نفس الحث المغنطيسي ف_م للمقارنة .

يستخدم الصلب في الحيز الذي تمر عبره خطوط المجال في حالة المجال المغنطيسي الذي حثه

ف (B₁) ، بينما يستخدم الهواء في الحيز الذي تمر عبره خطوط المجال المغنطيسي الذي حثه ف_م

(B₂) . ويتضح أن المساحة التي تمر عبرها خطوط الحث في الحالة الأولى تكون صغيرة

نوعا عنها في الحالة الثانية ، وذلك بالرغم من تساوى الحث المغنطيسي في كلتا الحالتين . ولتمييز

العلاقة بين كثافة الحث المغنطيسي (ف_م) والمساحة (ج) التي يمر عبرها هذا الحث ، يطلق

على حاصل ضرب هاتين الكيتين (ج × ف_م) « الفيض المغنطيسي » ، ويرمز لها بالرمز Φ (فاي)

ومن ذلك يتضح أن :

$$\Phi = \text{ج} \times \text{ف}_\text{م}$$

وحيث أن ف_م يعبر عنها $\frac{\text{فل} \cdot \text{ث}}{\text{م}^2}$ أو $\frac{\text{وب}}{\text{م}^2}$ والمساحة (ج) بالمتر المربع . فينتج أن وحدة

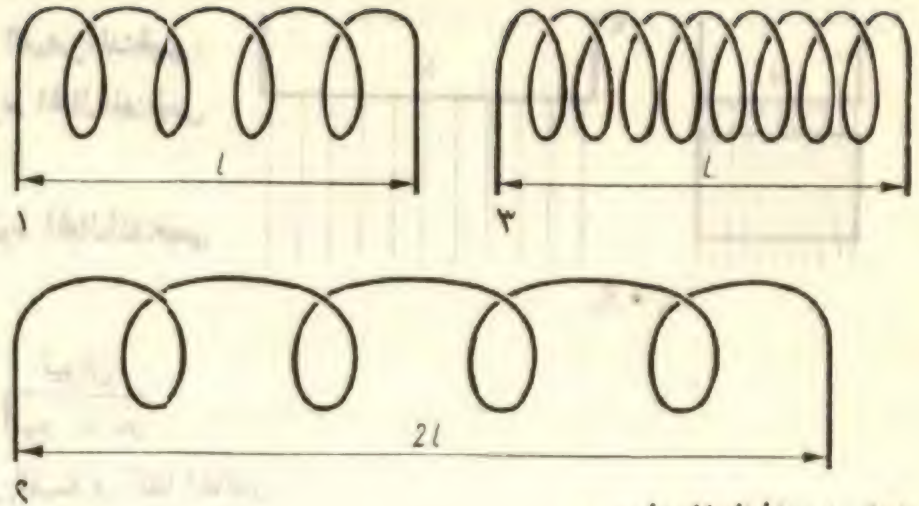
الفيض المغنطيسي Φ هي الوبر (فل . ث) .

شكل ١١٩ :
إيضاح شدة المجال
المغناطيسي :

١ - ملف (١) من ٤
لفات $l = 1$.

٢ - ملف (٢) من ٤
لفات $l = 2$.

٣ - ملف (٣) من ٨
لفات $l = 1$.



(٥) شدة المجال المغناطيسي :

يبين الشكل (٩٩) أن المجال المغناطيسي لكل من قضيب مغناطيسي وملف طويل يشبه كل منهما الآخر . ويمكن تحديد الحث المغناطيسي لكل منهما باستخدام أجهزة قياس مناسبة (مثل المغنيطومتر ، وهو جهاز يستخدم لقياس شدة المجال المغناطيسي) . والحث المغناطيسي هو كمية تعطى لإيجاد قيمة المجال المغناطيسي . ويمكن تعريف المجالات المغناطيسية الناتجة عن الملفات الحاملة للتيار بكمية أخرى على أساس العلاقة بين طول الملف وعدد لفيقات هذا الملف وشدة التيار الكهربائي المار عبره . ويبين الشكل (١١٩) ثلاث ملفات ، قطر لفاتها ومقاس سلكها (مقطعه المستعرض) تعتبر متساوية . وعليه فإنه يميز بينهما بعدد لفاتها (ن) وطول ملفاتها (ل) فقط .

أولا : تمرر تيارات مختلفة الشدة عبر الملف (١) . ويقاس الحث المغناطيسي F_m في كل حالة . وإذا أمررنا تيارا شدته أعلى ، يزداد الحث المغناطيسي كذلك . وعليه فإن :

$F_m \propto I$

وعندما تمرر تيارات لها نفس الشدة عبر الملف (١) أولا ، ثم عبر الملف (٢) ، فيبين تحديد الحث المغناطيسي في كل حالة أنه يتضاعف بمضاعفة عدد اللفات ، بينما يكون طول الملفين متساويا ، وعليه فإن :

$F_m \propto N$

وعندما تمرر تيارا له نفس الشدة ، أولا عبر الملف (١) ، ثم عبر الملف (٢) ، فإن هذه التجربة تبين أن قيمة الحث المغناطيسي في الملف (٢) الذي طوله ضعف طول الملف (١) ولها نفس عدد اللفات ، تكون نصف قيمة الحث المغناطيسي في الملف (١) . وهذا يعني :

$F_m \propto \frac{1}{l}$

وبإدماج هذه النتائج معا في تعبير واحد نحصل على ما يلي : $F_m \propto \frac{N \times I}{l}$

ولكن المصطلح $\frac{ت \times ن}{ل}$ هو تعبير نسبي للحث المغنطيسي ، ورمزه h (H) ، وعليه تكون شدة المجال المغنطيسي :

$$\frac{ت \times ن}{ل} = h$$

ونظرا لأن عدد اللفات $ن$ هو عدد ليس له أبعاد ، تكون وحدة شدة المجال المغنطيسي (h)

$$\frac{مب}{م}$$

ويمكن تحديد كثافة المجال المغنطيسي بالحث المغنطيسي ($ف$) مبرا عنه ($\frac{وب}{م}$) ، أو بشدة

المجال المغنطيسي (h) مبرا عنها ($\frac{مب}{م}$) . وهاتان الكميّتان تتناسبان مع بعضهما البعض .

(و) النفاذية المطلقة للميز المطلق :

طبقا للشرح السابق ، يمكن كتابة التناسب $ف \propto \frac{ت \times ن}{ل}$ بالصيغة التالية :

$$ف \propto (B) \propto h (H)$$

والتعبير عن هذه العلاقة بصيغة ، ندخل الثابت μ_0 وقيمه :

$$\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} \frac{فل . ث}{مب . م} = 1,256 \times 10^{-6} \frac{فل . ث}{مب . م}$$

وتساوى قيمة هذا الثابت « النفاذية المطلقة للميز المطلق » ويطلق عليها أيضا « ثابت المجال المغنطيسي » .

ومن هذا ينتج أن :

$$ف = \mu_0 h$$

ويعطى الطرف الأيسر من هذه الصيغة الوحدات التالية :

$$\frac{فل . ث}{مب . م} = \frac{فل . ث}{م} \times \frac{مب}{م} = \frac{وب}{م}$$

وهي نفس وحدة الحث المغنطيسي ($ف$) .

(ز) النفاذية النسبية :

ويطلق أيضا على النفاذية μ التي كانت تسمى بالموصلية المغنطيسية « النفاذية المطلقة » .

ويعبر عادة عن نفاذية مادة كضاعف للنفاذية المطلقة للميز المطلق μ_0 ، وعليه فإن :

$$\mu = \mu_0 \times \mu \text{ نسبي}$$

حيث μ_0 نسبي هي النفاذية النسبية ، وهي عدد بدون أبعاد ، فثلا μ نسبي للبرموث

هي ٠,٧٩٦ ،
وعليه فان :

$$\mu = 1,256 \times 10^{-6} \times \frac{\text{فل. ث}}{\text{م. ث}} \times 0,796$$

$$= 0,9998 \times 10^{-6} \times \frac{\text{فل. ث}}{\text{م. ث}}$$

ويبين ذلك أن التناسب الطردى للحث المغنطيسي وشدة المجال المغنطيسي (الشدة المغنطيسية) ،
يمكن التعبير عنه بطريقتين :

$$\text{ف} = \mu_0 \times \mu \text{ نسبي} \times \text{هـ} ، \text{أو} \text{ف} = \mu \times \text{هـ}$$

(ج) تطبيق قانون أوم على دائرة مغنطيسية :

من تعريف مفهوم النفاذية ، والحث المغنطيسي ، والفيض المغنطيسي ، والشدة المغنطيسية ،
يمكن استخلاص علاقة تشابه قانون أوم في دائرة التيار المستمر .
نعرف أن :

$$\text{ف} = \text{ج} \times \text{هـ} \text{ أيضا}$$

حيث $\text{ج} =$ المساحة التي تمر بها خطوط الفيض .

$$\text{ف} = \mu_0 \times \mu \text{ نسبي} \times \text{هـ} \times \text{ج} = \text{ج}$$

$$\text{ج} = \frac{\text{ف}}{\mu_0 \times \mu \text{ نسبي}}$$

ويمكن أيضا كتابة ذلك كما يلي :

$$\text{ف} = \mu \times \frac{\text{ت} \times \text{ن}}{\text{ل}} \times \text{ج} \text{ وتحلل إلى}$$

$$= \frac{\text{ت} \times \text{ن}}{\text{ل}} : \frac{1}{\mu} \times \frac{1}{\text{ج}} \text{ وقرتب بالمصفة التالية :}$$

$$= \frac{\text{ت} \times \text{ن}}{\text{ل} \times \mu \times \text{ج}}$$

ويطلق على العلاقة $\frac{\text{ل}}{\mu \times \text{ج}}$ المقاومة المغنطيسية (م) :

$$\text{وعليه فان : م} = \frac{\text{ل}}{\mu \times \text{ج}}$$

ويمكن أن نعتبر أن $\mu = \frac{L}{J \times J}$ كما هو الحال في قانون المقاومة .

ويطلق على العلاقة : (ت × ن) « القوة الدافعة المغناطيسية الابتدائية » أو « الجهد المغناطيسي » . ويرمز للقوة الدافعة المغناطيسية الابتدائية بالرمز Θ (ثيتا) ، وعليه ينتج أن :

$$\frac{\Theta}{\mu} = \Phi$$

وبالمناظرة مع قانون أوم في دائرة التيار المستمر نجد :

$$T = \frac{J}{M}$$

والقوة الدافعة المغناطيسية الابتدائية أهمية عملية في تصنيع المكثات الكهربائية ، حيث نحصل على المجالات المغناطيسية من ملفات يكون عدد لفاتها هو العامل الأساسي المعول عليه . ووحدة القوة الدافعة المغناطيسية هي « الأمبير » . وفي بعض الأحيان تستعمل « أمبير لفة » كوحدة للقوة الدافعة المغناطيسية . ولا يمكن أن يستعمل التعبير « أمبير لفة » رياضيا في مجموعة الوحدات المستخدمة هنا .

٥/٩ - الملفات الحاملة للتيار بقلب حديدي :

(١) المواد المغناطيسية الحديدية :

عند مناقشة الكيات اللازمة لتحديد المجال المغناطيسي ، شرحنا الموصلية المغناطيسية المسماة « نفاذية » . وفي هذا الشأن شرحنا العلاقة $F = \mu H$. وللاستطراد في شرح المغناطيسية ، يجب أولا أن نعطي بعض التفاصيل للمواد الدايا مغناطيسية والبارا مغناطيسية . وتكون قيمة μ لعديد من المواد الدايا مغناطيسية والبارا مغناطيسية مساوية تقريبا للواحد الصحيح . وعلى أى الأحوال ، هناك مجموعة للمواد البارا مغناطيسية ، تزيد قيمة μ فيها على واحد صحيح ($\mu > 1$) بدرجة يمكن أخذها في الاعتبار في نطاق مدى معين لدرجة الحرارة . ويطلق على هذه المواد « مواد مغناطيسية حديدية » وتشمل الحديد والنيكل والكوبلت وسبائكها ، وسبائك الكروم والمنجنيز . وتميز المواد المغناطيسية الحديدية عن المواد الأخرى بأن نفاذيتها تعتمد على قيمة الشدة المغناطيسية H . وهذا يعنى أن نفاذية المواد المغناطيسية الحديدية تعتمد بدرجة ما على قيمة H خلال نطاق معين لهذه القيمة . ويعنى ذلك بالتالى أنه باستخدام المواد المغناطيسية الحديدية كوسط في المجال المغناطيسي ، فإن الحث المغناطيسي (F_M) سيزداد مقابل زيادة طفيفة في شدة المجال المغناطيسي (H) . وذلك بمعدل أعلى - اعتباريا - من المعدل الذى نحصل عليه في الهواء كوسط .

(ب) التغمط ، والتشيع :

لتحديد قيمة الحث المغناطيسي لمجال مغناطيسي نتيجة لتأثير مغناطيسية حديدية ، تغمط هذه المادة مبتدئين بشدة مجال $H = \text{صفر}$. ونرسم القيم F_M التى نحصل عليها مقابل (H) .

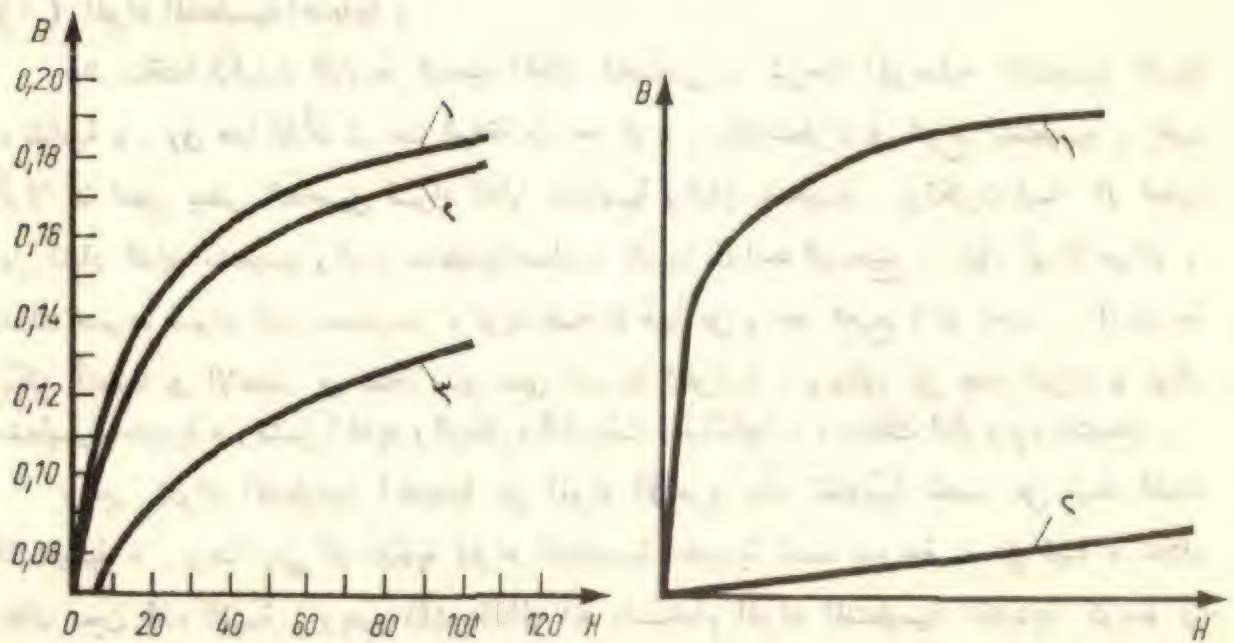
ينتج منحنى مميز للمادة المغناطيسية الحديدية المستعملة . ونحصل على القيم المختلفة (هـ) عمليا بزيادة شدة التيار (ت) باستمرار ، بينما يبقى عدد اللفات (ن) والطول (ل) ثابتين ، للملف المستخدم في التجربة .

ويبين الشكل (١٢٠) منحنى التماغنط لمادة مغناطيسية حديدية . والمقارنة نرسم قيم الحث المغناطيسي التي نحصل عليها في حالة استخدام الهواء كوسط .

وإذا وصلنا إلى قيمة معينة لشدة المجال المغناطيسي ، بعدها لا تزيد قيمة الحث المغناطيسي بزيادة شدة المجال ، وقد تكون الزيادة غير ملحوظة باستخدام مادة مغناطيسية حديدية كوسط . ومن هذه النقطة يبقى المنحنى ثابتا ، ويوضح هذا تشبع المغناطيس أو حد التشبع .

ويوضح الشكل (١٢١) منحنيات التماغنط لبضع مواد مغناطيسية حديدية مستخدمة في الهندسة الكهربائية . ويعبر عن ف بالوحدة $\frac{\text{وبر}}{\text{متر مربع}}$ ، $\left(\frac{\text{وب}}{\text{م}} \right)$ ، هـ بالوحدة $\frac{\text{مب}}{\text{سم}}$

ويطلق على هذه المنحنيات في حالة المواد التي لم يسبق تماغنطها « منحنيات بكر » أو « منحنيات أولية » ويوضح ذلك فيما بعد :



شكل ١٢١ : منحنيات تماغنط :

١ - شريحة دينامو .

٢ - غلاف صلب .

٣ - حديد زهر .

شكل ١٢٠ : منحنى التماغنط لمادة مغناطيسية حديدية :

١ - منحنى لمادة مغناطيسية حديدية .

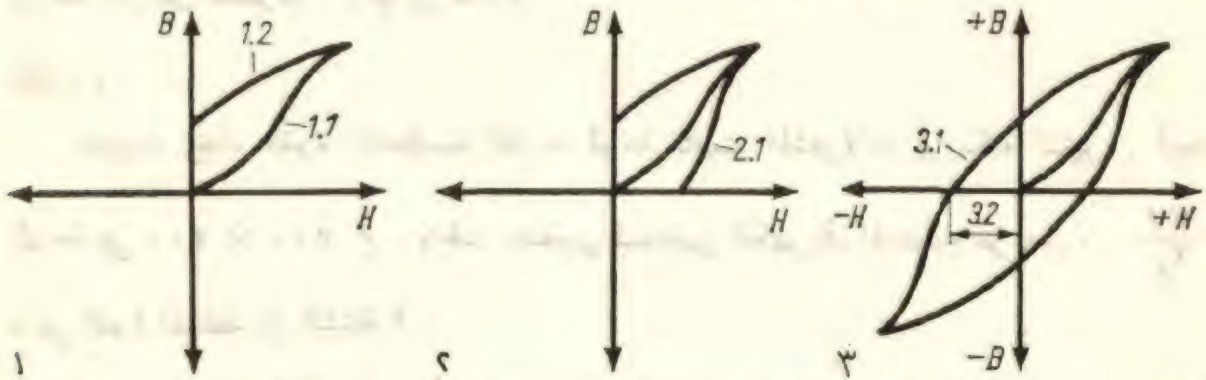
٢ - المنحنى الذي نحصل عليه باستخدام الهواء

كوسط .

(ج) التخلفية :

يوضح الشكل (١٢٢ - ١) طريقة التجربة التالية : تقطع عملية التمكنظ عند أى قيمة مناسبة للمنحنى الأولى (١ ، ١) - وتخفض قيمة شدة المجال المغنطيسى (هـ) باستمرار بخفض قيمة شدة التيار (ت) وتقاس قيم F_m فى كل حالة ، ويزيم القيم التى نحصل عليها مقابل قيم (هـ) على منحنى بيانى . يأخذ المنحنى مسارا آخر (١ ، ٢) ، أى تساوى الشدة المغنطيسية (هـ) صفرا ، عندما يكون الحث المغنطيسى F_m أعلى من الصفر .

وباستمرار عملية التمكنظ ، نحصل على منحنى التمكنظ (١ ، ٢) فى الشكل (١٢٢ - ٢) وهذا المنحنى يحدد أيضا عن المنحنى الأولى .



شكل ١٢٢ : تطور أنشطة التخلفية :

أنشطة التخلفية .

١,٣ - إستبقائية .

٢,٣ - قوة قهرية .

١ - ١,١ - منحنى أولى .

٢,١ - منحنى بعد التمكنظ العكسى .

٢ - ١,٢ - منحنى بعد التمكنظ مرة ثانية .

وبعكس اتجاه التيار تبدأ عملية الرجوع للتمكنظ ، وتسمى « تمغنظ عكسى » ، ونحصل على منحنى يطلق عليه أنشطة التخلفية . ويسمى تصرف المادة الذى يوضحه منحنى العلاقة (ف - هـ) « التخلفية » ، حيث لا ينطبق المنحنى الناشئ عن تخفيض (هـ) على ذلك الذى ينشأ بزيادتها ، ويعنى هذا المصطلح « يتخلف عن » . ونجد فى الجزء (١ ، ٣) للمنحنى فى الشكل (١٢٢ - ٣) ، أن قيمة الحث المغنطيسى (F_m) لا تصل إلى الصفر ، إلا إذا وصلت قيمة الشدة المغنطيسية (هـ) إلى قيمة معينة فى عكس الاتجاه . ويسمى هذا الجزء من الحث المغنطيسى « المغنطيسية المتبقية » أو « الاستبقائية » . (الفصل التاسع - البند الأول) ، ويطلق على الشدة المغنطيسية (هـ) اللازمة لإزالة الاستبقائية « القوة القهرية » .

ويميز فى الهندسة الكهربائية بين المواد الصلدة والمواد الطرية مغنطيسيا . ويلزم للمواد الصلدة مغنطيسيا قوة قهرية أكبر لإزالة الاستبقائية ، بينما تحتاج المواد الطرية مغنطيسيا إلى قوة قهرية

أصغر . وتبعاً لذلك تكون أنشطة التخلفية للمواد المغناطيسية الصلدة ، أوسع اعتبارياً من تلك الخاصة بالمواد المغناطيسية الطرية .

(د) المغناطيسات الكهربائية :

تستخدم ملفات لها قلوب من مواد مغناطيسية حديدية كمغناطيسات كهربائية ، على هيئة مغناطيسات رفع ، كما في المغناطيسات المستعملة في المرحلات والملاصقات والقوابض المغناطيسية والصمامات المغناطيسية ، وهذا على سبيل المثال لا الحصر . ويصعب تحديد القوة الناتجة عن المغناطيس بدقة كافية .

وعموماً ، تستخدم في الحياة العملية طرق حسابية تعطى قيماً تقريبية ، ولكنها تضمن النتائج المرغوبة للفرض المطلوب . وفيما يلي مثالان :

مثال ١ :

مطلوب إيجاد القوة المغناطيسية اللازمة للوحة تثبيت المشغولات في مكينة تشغيل . أبعاد اللوحة هي 200×300 مم . والحث المغناطيسي للمغناطيس الكهربائي المستخدم هو $0,18 \frac{\text{وب}}{\text{م}}$ ما هي القوة المسلطة على الشغلة ؟

لتحديد هذه القوة لأقرب قيمة ، تستعمل الصيغة :

$$Q = \frac{F^2 \times J}{0,25}$$

حيث ج هي المساحة بالم^٢

$$\text{معطيات : } F = 0,18 \frac{\text{وب}}{\text{م}}$$

$$J = \text{الطول} \times \text{العرض}$$

$$= 200,0 \times 300,0 = 60000 \text{ سم}^2$$

المطلوب : ق بالكيلو بوند (كب)

الحل :

$$Q = \frac{60000 \times (0,18)^2}{0,25}$$

$$F = 78 \text{ كيلو بوند}$$

مثال ٢ : القوة الفعالة على الشغلة قدرها حوالى ٧٨ كيلو بوند

وتجذب أعضاء الإنتاج إلى المرحلات المستخدمة في هذسة المواصلات عند ١٠٠ ت × ن
(أمير لفة) عندما نحمل هذه المرحلات بتلامس تشغيل . إذا كان المطلوب جذب هذا المرحل
عند جهد ج = ٢٤ فلت ومقاومة م = ١٠٠٠ Ω ، يمكن حساب عدد اللفات لهذا المرحل
بالكيفية التالية :

$$ت = \frac{ج}{م} ، ت = \frac{٢٤ \text{ فلت}}{١٠٠٠ \Omega} ، ت = ٠,٢٤ ، \text{ أمير}$$

من ذلك يمكن حساب عدد اللفات من

$$ن = \frac{١٠٠ \text{ أمير لفة}}{٠,٢٤ \text{ أمير}} ، ن = ٤١٦٧ \text{ لفة}$$

ويجب إيجاد قيمة طول السلك طبقا لمقاس وشكل الملف ، مع أخذ المقاومة م = ١٠٠٠ Ω
في الاعتبار . ويمكن بعد ذلك إيجاد قيمة مقطع السلك .



الفصل العاشر

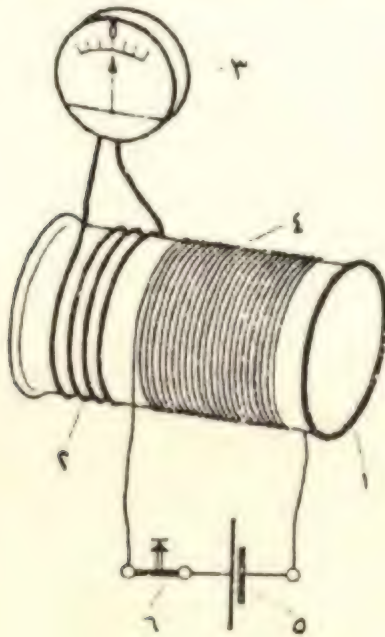
الحث المغنطيسي الكهربائي

١٠/١ - اختبار فاراداي :

أدت أبحاث فاراداي (١٧٩١ - ١٨٦٧) إلى الاستخدام العالمي الواسع النطاق للكهرباء كطاقة نافعة للغاية يمكن توزيعها وتحويلها إلى أشكال أخرى منها بطرق بسيطة نسبياً دون أي فقد في الزمن عملياً .

بنى فاراداي دراساته لظاهرة الحث المغنطيسي الكهربائي ، على أساس أنه بالنسبة للشحنات الكهربائية المتحركة ، يمكن الحصول على ظاهرة مناظرة لظاهرة الحث الإستاتيكي ، حيث أمكن فصل الشحنات الكهربائية الإستاتيكية بعضها عن بعض ، وذلك بتقريب جسم مشحون إلى آخر غير مشحون .

يبين الشكل (١٢٣) الاختبار الذي أجراه فاراداي . تلف لفيفتان منفصلتان كهربائياً ، جنباً إلى جنب على اسطوانة مجوفة من ورق الكرتون . تتكون إحدى هاتين اللفيفتين من بضع لفات من سلك سميك ، يوصل طرفاه بجهاز قياس مزود بمؤشر يسمح له بالانحراف على تدريج تجاه أي جانب من جوانبه . وتتكون اللفيفة الثانية من عدة لفات من سلك رفيع يكون جزءاً من دائرة كهربائية تشتمل على مصدر للجهد ، ومفتاح كهربائي بذراع .



شكل ١٢٣ :

- ١ - اسطوانة مجوفة .
- ٢ - ملف عليه عدد من اللفات .
- ٣ - جهاز قياس .
- ٤ - ملف عليه عدد كبير من اللفات .
- ٥ - مصدر للجهد .
- ٦ - مفتاح كهربائي بذراع (قاطع) .

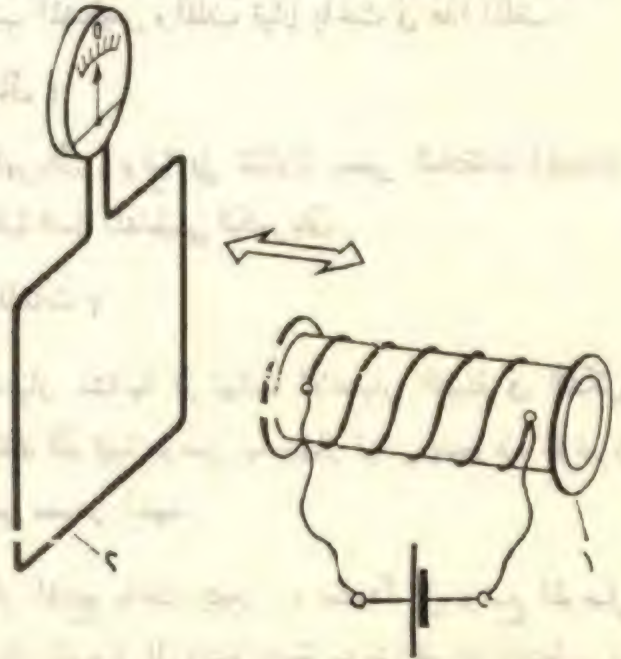
وهذا الشكل ، تشتمل ترتيبية الاختبار هذه على دائرتين ، تحمل إحداها تياراً يمر بصفة مستمرة فيها ، بينما لا تحمل الأخرى تياراً . فعند فصل الدائرة الكهربائية بتشغيل المفتاح الكهربائي ، ينحرف مؤشر جهاز القياس ، ثم يعود مرة ثانية إلى وضع الصفر . وعند قفل الدائرة الكهربائية ينحرف مؤشر جهاز القياس في الاتجاه عكسي لاتجاه انحرافه في الحالة الأولى ، ثم يعود مرة ثانية إلى وضع الصفر . وتعرف هذه الظاهرة كما يلي :

عند فصل أو قفل دائرة كهربائية ، يمر تيار كهربائي لوقت قصير ، خلال دائرة كهربائية مغلقة موضوعة بجوار الدائرة الكهربائية الأولى ، ويسمى هذا التيار « التيار المنتج بالحث » .

١٠/٢ - أشكال الحث المغنطيسي الكهربائي :

يبين الاختبار التالي ، المبين بالشكل (١٢٤) دراسة أكثر عمقا للحث المغنطيسي الكهربائي . فإذا عدلت ترتيبية الاختبار المبينة بالشكل (١٢٣) ، بحيث يوصل الملف مباشرة بمصدر الجهد (بإخراج المفتاح الكهربائي من الدائرة الكهربائية) ، مع ترتيب كلا الملفين بحيث يكونان قابلين للحركة ، يمكن ملاحظة الظاهرة التالية : عند تقريب ملف للآخر (يمكن تحريك أى من الملفين) ، ينحرف مؤشر جهاز القياس . وعند إبعاد الملفين عن بعضهما البعض ، ينحرف مؤشر جهاز القياس في اتجاه عكسي لانحرافه في الحالة الأولى ، وهذا يبين أنه ليس هناك حاجة إلى فصل أو قفل دائرة كهربائية لإنتاج تيار بالحث في دائرة كهربائية أخرى .

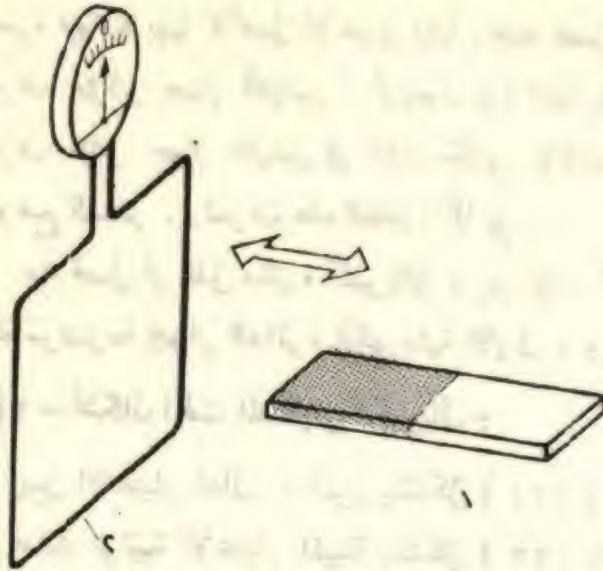
ولذلك تعرضت هذه الظاهرة لدراسات أكثر عمقا ، تستهدف بحث سبب حدوث نفس التأثير كما هو الحال في الاختبار الأول ، وذلك بتحريك الملفين بالنسبة لبعضهما البعض . وقطع الدائرة الكهربائية ليس هو السبب الوحيد لإنتاج تيار بالحث ، وإنما يصاحب قطع الدائرة الكهربائية تكوين مجال مغنطيسي حول الملف الحامل للتيار الكهربائي يؤدي إلى إنتاج تيار بالحث .



شكل ١٢٤ : الحث المغنطيسي الكهربائي في الملفات القابلة للحركة .

١ - ملف بمصدر للجهد (ملف ابتدائي) .

٢ - ملف بجهاز لقياس (ملف ثانوي) .



شكل ١٢٥ : الحث المغنطيسي الكهربائي

النتائج بواسطة قضيب مغنطيسي

١ - قضيب مغنطيسي .

٢ - ملف بجهاز قياس .

وفي الاختبار الأول ، يصاحب قطع الدائرة الكهربائية تلاشي المجال المغنطيسي ، بينما يصاحب قفل الدائرة الكهربائية تكوين المجال المغنطيسي . وفي هذا التفسير الأخير ، يؤثر قفل وفصل الدائرة الكهربائية في تغيير الفيض المغنطيسي من قيمة الصفر إلى قيمة الذروة ، ثم رجوعاً إلى قيمة الصفر . يمكن تفسير الحث المغنطيسي الكهربائي الناتج في الاختبار الثاني على هذه الأسس . فنتيجة لحركة الملفات تجاه بعضها البعض ، وبعبداً عن بعضها البعض ، يتغير الفيض المغنطيسي بحيث تمر خطوط فيض أكثر عبر الملف الثانوي (الملف الموصل بجهاز القياس) في الوهلة الأولى ، بينما تمر خطوط فيض أقل في الوهلة الثانية .

وعلى أساس هذه الاعتبارات ، أجريت أبحاث لمعرفة ما إذا كان تغير الفيض المغنطيسي لمغنطيس على هيئة قضيب ، يمكن أن يحدث نفس التأثير في الملف التأثيري ، الشكل (١٢٥) . وفي الحقيقة ، تنتج الحركة النسبية بين قضيب المغنطيس والملف تياراً بالحث في هذا الملف .

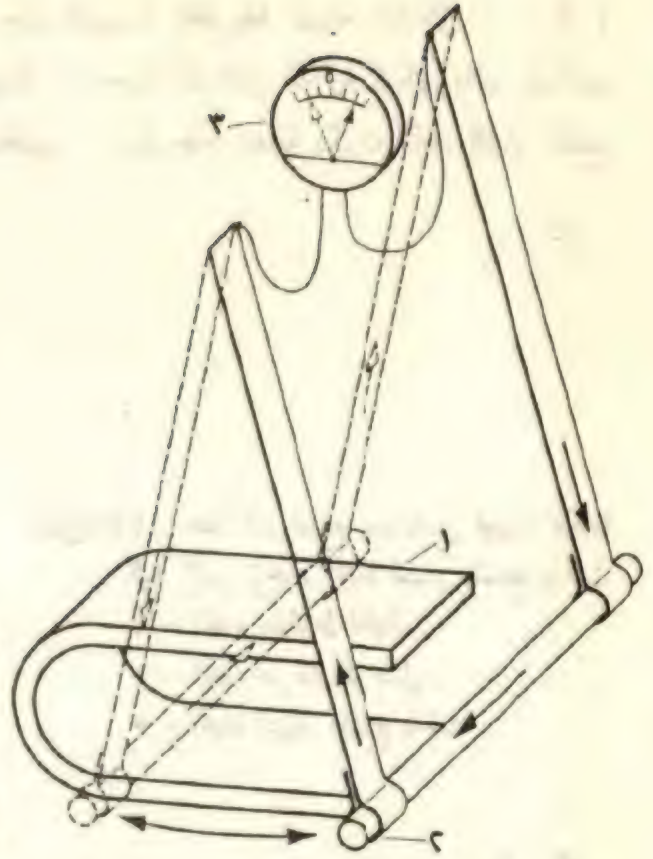
١٠/٣ - قواعد وقوانين الحث المغنطيسي الكهربائي :

شرحنا فيما سبق ظاهرة الحث المغنطيسي الكهربائي . وفيما يلي نتناول بعض العلاقات المتبادلة بين التأثيرات المغنطيسية والكهربائية والميكانيكية للحث المغنطيسي الكهربائي .

(١) اتجاه التيار المنتج بالحث في الموصلات والملفات :

يبين الشكل (١٢٦) مثلاً لترتيبة اختبار مشابهة لترتيبات الاختبار المبينة في الشكل (١١٣) والشكل (١١٧) ، فيما عدا أن تلك الترتيبة موصل بها جهاز قياس ينحرف مؤشره تجاه أي جانب من جانبي التدرج ، وذلك بدلاً من مصدر الجهد .

يتبين من الشكل (١٢٦) ، أن اتجاه التيار المنتج بالحث يتغير ، معتمداً على وضع الموصل بالنسبة لمجال حدود الحصان المغنطيسي . فعند تحريك الموصل إلى داخل فتحة حدود الحصان المغنطيسي ،



شكل ١٢٦ : موصلات اختبار لاتجاه التيار
المنتج بالحث .
١ - مغنطيس على شكل حدوة حصان .
٢ - موصل قابل للحركة .
٣ - جهاز قياس .

يكون انحراف مؤشر جهاز القياس في اتجاه عكس اتجاهه عند سحب الموصل إلى خارج فتحة حدوة الحصان المغنطيسي . ويتضح من ذلك وجود علاقة بين اتجاه خطوط الفيض المجال المغنطيسي ، واتجاه حركة الموصل (أو حركة المغنطيس) ، واتجاه التيار المنتج بالحث . ويمكن التعبير عن هذه العلاقة كما يلي :

عند اختراق خطوط الفيض لراحة اليد اليمنى ، تشير أطراف الأصابع إلى اتجاه التيار المنتج بالحث ، بينما يبين إصبع الإبهام الممتد اتجاه الحركة ، الشكل (١٢٧) .

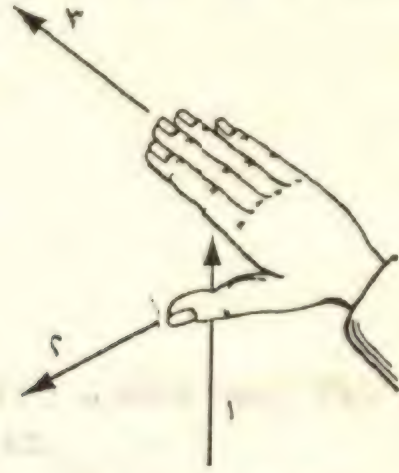
ويمكن بكيفية مشابهة تحديد اتجاه التيار المنتج بالحث في الملفات لهذا الغرض (انظر الشكل ١٢٥) ، وبأخذ حالة حركة قضيب مغنطيسي كثال مبسط ، نجد أنه بتحريك قضيب المغنطيس تجاه الملف ، يكون اتجاه التيار المنتج في الملف ، عكس اتجاه التيار عند سحب قضيب المغنطيس بعيداً عن الملف .

من هذا يستنتج ما يسمى بقاعدة عقرب الساعة (الشكل ١٢٨) :

عند النظر إلى فتحة الملف في اتجاه خطوط الفيض ، يكون سريان التيار المنتج بالحث في اتجاه عكس عقارب الساعة إذا أثرت خطوط فيض أكثر على الملف ، بينما يكون سريانه في اتجاه عقارب الساعة إذا أثرت خطوط فيض أقل على الملف .

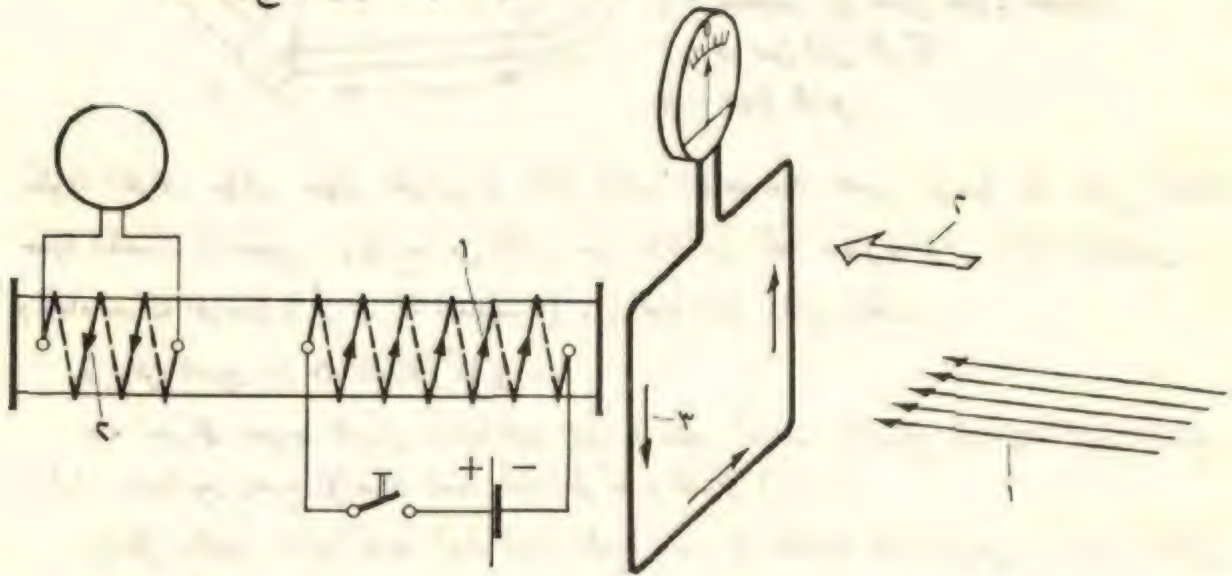
ويمكن أيضاً إيجاد التيار المنتج بالحث في دائرة كهربائية ابتدائية ، عند قفلها أو فصلها ، الشكل (١٢٣) .

وعند الأخذ في الاعتبار قطبية ملف (سبق تعيينها بالطريقة المبينة بالشكل ١٠٠) ، فإنه يمكن إيجاد اتجاه التيار المنتج بالحث بسهولة ، حيث أن قفل الدائرة الكهربائية يصاحبه زيادة في التيار ، ثم ازدياد في شدة الفيض المغنطيسي . وفي هذه الحالة يكون اتجاه التيار المنتج بالحث عكس اتجاه التيار الابتدائي .



شكل ١٢٧ : هذا التوضيح يساعد في تبين قاعدة اليد اليمنى لإيجاد اتجاه التيار المنتج بالحث

- ١ - اتجاه خطوط المجال .
- ٢ - اتجاه حركة الموصل .
- ٣ - اتجاه التيار المنتج بالحث .



شكل ١٢٨ : هذا التوضيح يساعد في تبين قاعدة عقارب الساعة لإيجاد اتجاه التيار المنتج بالحث

- ١ - اتجاه خطوط المجال .
- ٢ - اتجاه الحركة .
- ٣ - اتجاه التيار المنتج بالحث .

شكل ١٢٩ : اتجاه التيار المنتج بالحث عند قفل الدائرة الكهربائية الابتدائية .

- ١ - اتجاه التيار في الملف الابتدائي .
- ٢ - اتجاه التيار المنتج بالحث في الملف الثانوي .

(ب) الحث المغنطيسي الكهربائي من الوجهة التنشيطية :

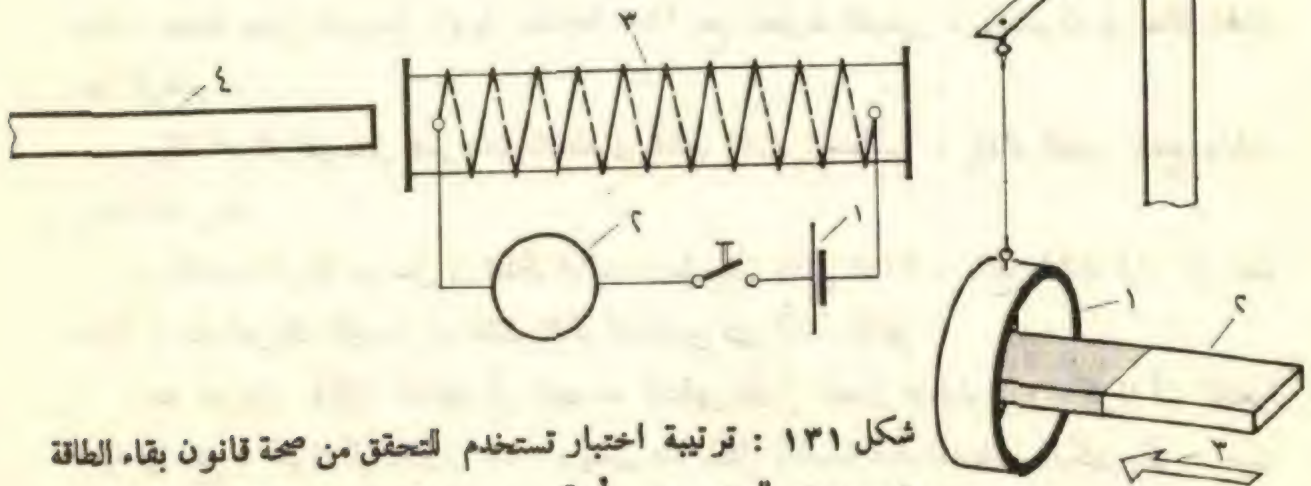
عند مناقشة تأثيرات التيار الكهربائي (انظر القسم الأول ، الفصل الأول) ، أعطينا بعض الملاحظات على نظرية بقاء الطاقة . وهنا نود أن نشير إلى العلاقة بين الحث المغنطيسي الكهربائي وبقاء الطاقة . ولتبيان هذه العلاقة نعطى الأمثلة التالية :

عند تعليق حلقة مقفلة من موصل (مصنوعة من سلك نحاس) ، بحيث تكون حرة الحركة ، ينتج فيها تيار بالحث إذا تحرك قضيب مغنطيسي بطريقة مناسبة للحلقة . وللظاهرة الآتية اهتمام خاص : عند تحريك قضيب المغنطيس إلى داخل حلقة الموصل ، تتحرك أيضاً الحلقة في اتجاه حركة قضيب المغنطيس ، وعند سحب قضيب المغنطيس من داخل الحلقة ، تتبع الحلقة أيضاً حركة قضيب المغنطيس (الشكل ١٣٠) .

ويتضح من هذا أن مثل هذا المجال المغنطيسي ، المميز باتجاه التيار المنتج بالحث ، والذي يصاد التغير في الفيض المغنطيسي ، المميز بحركة قضيب لمغنطيس ، ينتج في نطاق حلقة الموصل . ويمكن افتراض أن الحركة المتتابة لحلقة الموصل تكتب حركة قضيب المغنطيس (عندما تحرك الحلقة وقضيب المغنطيس في نفس الاتجاه ، يكون معدل حركة المغنطيس بالنسبة للحلقة أقل منها عندما تكون الحلقة مثبتة) . وفي مثل هذه الترتيبة ، إذا ظهر رد الفعل المعكوس على التغير في الفيض المغنطيسي ، أي إذا أدى المجال المغنطيسي للتيار المنتج بالحث إلى تغير في الفيض المغنطيسي لقضيب المغنطيس ، فيمكن توليد أي كمية من الطاقة الكهربائية بواسطة كمية مبدئية صغيرة منها . وهذا لا يطابق قانون بقاء الطاقة . والشكل (١٣١) يبين ترتيب اختبار أخرى تعطى البرهان على صحة قانون بقاء الطاقة ، وفي هذا الاختبار تقاس شدة التيار في وجود الحث المغنطيسي .

شكل ١٣٠ : الحث المغنطيسي الكهربائي وأهدافه التنشيطية

١ - حلقة الموصل . ٢ - قضيب مغنطيسي . ٣ - اتجاه الحركة .



شكل ١٣١ : ترتيب اختبار تستخدم للتحقق من صحة قانون بقاء الطاقة

١ - مصدر للجهد . ٢ - أميتر . ٣ - ملف . ٤ - قضيب مغنطيسي .

يوضع قضيب مغنطيس أمام ملف ، بحيث يسحب المغنطيس إلى داخل الملف وذلك بتأثير القطب المواجه للملف ، وبفرض أن المسافة بين الملف وبين القضيب تكون صغيرة بقدر كاف ، تخيل الآتي :

بعد وقت معين يفرغ مصدر الجهد ، ويعتمد هذا التصريح إلى حد كبير على قيمة مقاومة الملف الذى تتحول فيه الطاقة الكهربائية $T \times M \times Z$ إلى حرارة . وعند تقريب المغنطيس للملف ، فإنه يصل إلى مسافة يجذب منها ، ويسحب إلى داخل الملف . ومن المؤكد تماماً فى هذه الحالة ، أن هناك شغلا قد بذل مع التجاذب . فإين بذل هذا الشغل ؟

فى الطبيعة وفى المفهوم المادى ، لا يبذل الشغل دون مكافئ . ومن هذا ينتج أنه فى اللحظة التى يسحب فيها المغنطيس إلى داخل الملف ، تنخفض الكمية الإجمالية للطاقة المحولة إلى حرارة بما يساوى هذا الشغل ، ويجب ملاحظة أن مقاومة الملف M ، تبقى ثابتة بحيث يمكن تغيير شدة التيار فقط . وعليه ، فيفترض أنه عند لحظة التجاذب ، تنخفض شدة التيار المار عبر الملف ، لى تتحول كمية أقل من الطاقة إلى حرارة . وفى الواقع ، ينتج المغنطيس جهداً بالحث فى الملف أثناء سحبه إلى داخله ، ويضاد التيار المنتج بالحث ، التيار الابتدائى فى الملف مسبباً كفته ، وبالتالي خفضه ، وذلك نتيجة لعكس اتجاه السريان . ويمكن التأكد من ذلك بقراءة الأميتر فى اللحظة التى يجذب فيها الملف المغنطيس .

ولقد درس عالم الطبيعيات الروسى لينز Lenz (١٨٠٤ - ١٨٦٥) العلاقات بين الحث المغنطيسى الكهربائى وبقاء الطاقة : ويمكن تعريف هذه العلاقة كما يلي :

يضاد اتجاه التيار المنتج بالحث دائماً الحركة أو الفيض المغنطيسى المتغير المتولد عنه .

١٠/٤ - العلاقات بين المغنطيسية والكميات المنتجة بالحث :

من الترتيبة المبينة فى الشكل (١٢٦) يمكن استنتاج الآتى :

عند تحريك الموصل فى اتجاه خطوط الفيض ، لا ينتج تيار الحث . بينما ينتج أعلى تيار بالحث عندما يعمل الموصل زاوية مقدارها 90° مع خطوط الفيض ، ويتحرك فى نطاق المجال بهذا الوضع .

وإذا تحرك الموصل بسرعات مختلفة فى نطاق المجال المغنطيسى ، يزداد التيار المنتج بالحث بزيادة السرعة .

وبالنسبة لحركة موصل فى نطاق مجالين مغنطيسيين مختلفى الشدة ، ينتج بالحث تيار ذو شدة عالية ، عند تحريك الموصل فى نطاق المجال المغنطيسى ذى الشدة الأعلى .

عند تعريف فكرة الفلطة أو الجهد الكهربائى (الفصل الثالث) ، ذكرنا أن الفلطة تشبه قوة دفع ، تحرك الإلكترونات . ويطبق هذا بالمثل بالنسبة للحث المغنطيسى الكهربائى ، حيث تزود الإلكترونات الحرة الحركة فى الموصل بقوة دافعة تسبب حركتها . ولقد أوجز فاراداي هذه الظاهرة فى قانون الحث كما يلي :

تنتج بالحث قدرة دافعة كهربائية ابتدائية فى موصل ، بتغير الفيض المغنطيسى المحيط به . وهنا يعطى تعريف أكثر دقة للفيض المغنطيسى المذكور فى القسم الأول ، الفصل الرابع وهو :

تكون قيمة شدة الفيض المغنطيسي مساوية و بر واحد ، إذا أنتج بالحث جهدا قيمته قلط واحد
 في لفيفة حوله ، ويتناقص هذا الجهد بانتظام إلى قيمة الصفر ، وذلك خلال زمن قدره ثانية واحدة ،
 وعندما نرمر للقوة الدافعة الكهربائية الابتدائية المنتجة بالحث بالرمز ج ١ ، يمكن وضع
 العلاقة التالية :

في فترة صغيرة من الزمن Δ ز (دلتا ز) ، ينتج لتغير $\Phi \Delta$ في الفيض المغنطيسي المحيط
 بلفيفة ، قوة دافعة كهربائية ج ١ فيها ، وعليه :

$$\frac{\Phi \Delta}{\Delta ز} = ج ١$$

ولعدة لفيفات محاطة بفيض مغنطيسي Φ ، تطبق العلاقة التالية :

$$ج ١ \times \frac{\Phi \Delta}{\Delta ز} = ن$$

حيث ن هي عدد اللفيفات .

ومن هذا يمكن استنتاج علاقة أخرى تربط بين الحث لمغنطيسي ف م ، وطول الموصل الفعال
 (ل) والسرعة (ع) ، وهي :

$$\frac{\Phi \Delta}{\Delta ز} = ف م \times ل \times ع$$

يعني هذا أن القوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث تساوى حاصل ضرب الحث المغنطيسي
 وطول الموصل والسرعة التي يتحرك بها الموصل في المجال المغنطيسي . وعلى هذا ، فن العلاقاتين
 السابقتين نحصل على العلاقة التالية :

$$ج ١ = ف م \times ل \times ع$$

مثال :

إذا كان الطول الفعال لموصل هوائي لطائرة نفائة هو ٣٠ متر . وكانت الطائرة تتحرك عمودياً
 على خطوط الفيض للمجال المغنطيسي للأرض الذي حثه المغنطيسي ف م = ١٠ × ٤,١ - ٥ $\frac{\text{فل ث}}{\text{م}}$ ،
 وبسرعة ١,٠٨٠ كيلومتر/ساعة ، فا القوة الدافعة الكهربائية ج ١ المنتجة بالحث في هذا الهوائي ؟
 (الشكل ١٣٢)

$$\begin{aligned} \text{المعطيات : } ف م &= ١٠ \times ٤,١ - ٥ \frac{\text{فل ث}}{\text{م}} \\ ل &= ٣٠ \text{ متر} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ع} &= 1,080 \text{ كيلومتر/ساعة} \\ \text{ع} &= 300 \text{ متر في الثانية} \end{aligned}$$

المطلوب : ج ١

الحل :

$$\text{ج ١} = \text{ف} \times \text{ل} \times \text{ع}$$

$$= 4,1 \times 10^{-5} \times 30 \times 300$$

$$= 0,36 \text{ فلت} = 360 \text{ ملي فلت}$$

القوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث في الهوائي هي ٣٦٠ ملي فلت .
وإذا كان الموصل مكونا من عدة لفات ، تستخدم العلاقة التالية :

$$\text{ج ١} = \text{ف} \times \text{ل} \times \text{ع} \times \text{ن}$$

مثال :

لمولد تيار مستمر قطبان مغنطيسيان بطول ٢٥ سم وبعرض ٣٠ سم ، والحث المغنطيسي

للمجال المغنطيسي لهذين القطبين هو ١,٢ $\frac{\text{فلت}}{\text{م}} .$ يعمل في هذا المجال عضو إنتاج له ١٠٠ لفة
بسرعة ٩٦٠ دورة في الدقيقة . ما القوة الدافعة الكهربائية ج ١ المنتجة في هذا المولد ؟

$$\text{المعطيات : ف} = 1,2 \frac{\text{فلت}}{\text{م}}$$

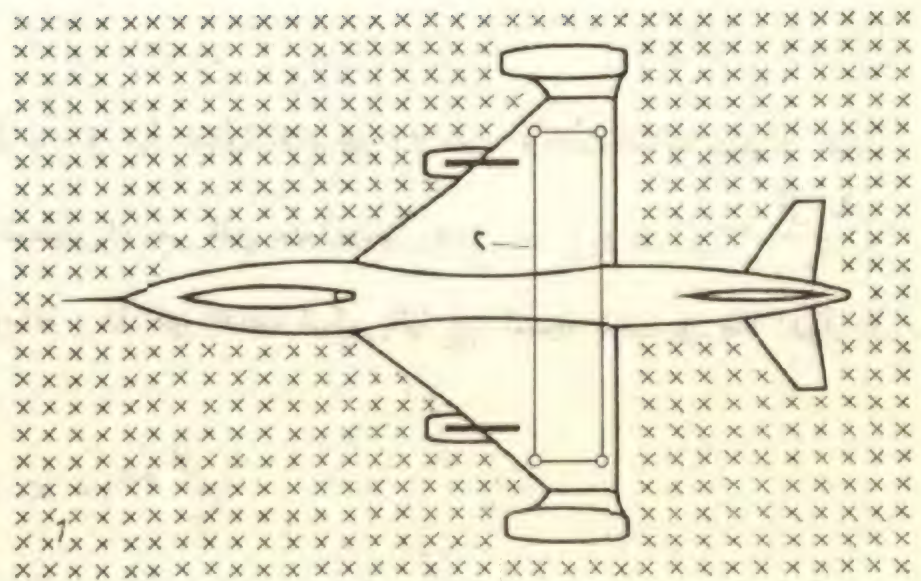
$$\text{ل} = 25 \text{ سم}$$

$$\text{ض} = 30 \text{ سم}$$

$$\text{ع} = 960 \text{ دورة في الدقيقة}$$

$$\text{ن} = 100 \text{ لفة}$$

المطلوب : ج ١



شكل ١٣٢
حث لفطية (ج)
في هوائي
١ - المجال المغنطيسي
للأرض .
٢ - الطول الفعال
للموصل .

الحل :

عند سرعة ٩٦٠ دورة في الدقيقة ، يمر الطول الفعال لموصل وهو ٢٥ سم بين قطبين عرض كل منهما ٣٠ سم وذلك بمعدل ١٦ مرة كل ثانية ، ومن هذا ينتج أن السرعة

$$ع = ٢ \times ١٦ \times ٠,٣٠ \frac{\text{متر}}{\text{ثانية}} \text{ وعلى ذلك :}$$

$$١ج = ف \times ل \times ع \times ن .$$

$$= ١,٢ \times ٠,٢٥ \times ٢ \times ١٦ \times ٠,٣٠ \times ١٠٠$$

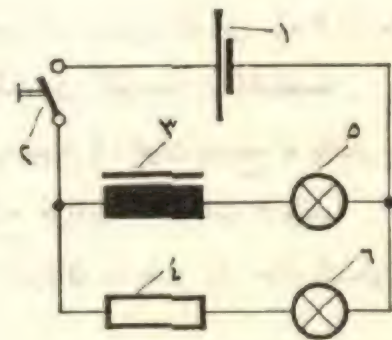
$$= ٢٨٨ \text{ فلت}$$

ينتج بالحث في هذا المولد قوة دافعة كهربائية قيمتها ٢٨٨ فلت .

١٠/٥ - الحث الذاتي :

تبين ترتيب الاختبار المبينة في الشكل (١٣٣) كيفية تصرف ملف بقلب حديد في دائرة كهربائية ، وذلك عندما يوصل التيار إليها ويفصم عنها . وتكون قيم مقاومة الملف والمقاومة الأومية الموصلة في الدائرة الكهربائية متساوية . فعندما تشغل هذه الترتيب ، يومض المصباح المتوهج الموصل على التوالي مع الملف متأخراً بعض الوقت عن المصباح المتوهج الموصل على التوالي مع المقاوم . وطبقاً لقانون لينز ، ينتج تيار بالحث ، يكون اتجاهه عكس اتجاه التيار الموجود عندما تقفل الدائرة الكهربائية (وهذا يعني أيضاً ازدياد شدة المجال المغنطيسي للملف) . وعندما يصل الجهد وشدة التيار إلى قيمة معينة ؛ أي إذا لم يتغير الفيض المغنطيسي مرة ثانية ، يخبو هذا الحث . ويسمى الحث المغنطيسي الكهربائي المسبب عن قوة دافعة كهربائية إضافية في الملف ، والتأثير الواقع على هذا الملف « الحث الذاتي » .

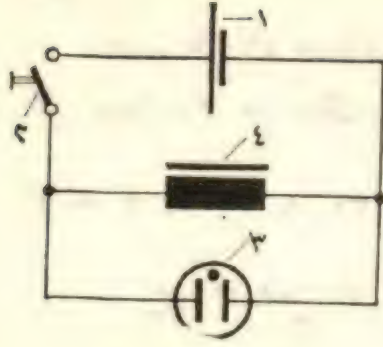
ويمكن ملاحظة الحث الذاتي المسبب عن قوة دافعة كهربائية عندما تفصم دائرة كهربائية ، وذلك بمساعدة ترتيب كما هو مبين بالشكل (١٣٤) .



شكل ١٣٣

تصرفات ملفات بقلوب حديد في دائرة كهربائية

- | | |
|---------------------|--------------------|
| ١ - مصدر الجهد . | ٤ - مقاومة أومية . |
| ٢ - مفتاح كهربائي . | ٥ - مصباح ١ |
| ٣ - ملف بقلب حديد . | ٦ - مصباح ٢ |



شكل ١٣٤ : تصرف ملفات بقلوب حديد عندما تقطع الدائرة الكهربائية .

١ - مصدر للجهد (حوالي ٢ فولت) .

٢ - مفتاح كهربائي .

٣ - مصباح كهربائي مقنن جهده ج = ١١٠ فولت .

٤ - ملف بقلب حديد (حوالي ١٥٠٠ لفه) .

فعندما تشغل هذه الترتيبة ، لا يمكن ملاحظة أى شيء من الخارج ، وإنما يمكن فقط إثبات سريان تيار كهربائي في هذه الدائرة الكهربائية . ولهذا الغرض يمكن استخدام أميتر أو إبرة مغناطيسية . فعند فصل هذه الدائرة الكهربائية ، يومض المصباح المتوهج للحظة ، وهذا يعنى أن الجهد قد وصل إلى قيمة قدرها ٥٠ مرة أعلى من قيمة الجهد المقنن . ويمكن شرح هذه الظاهرة كما يلي :

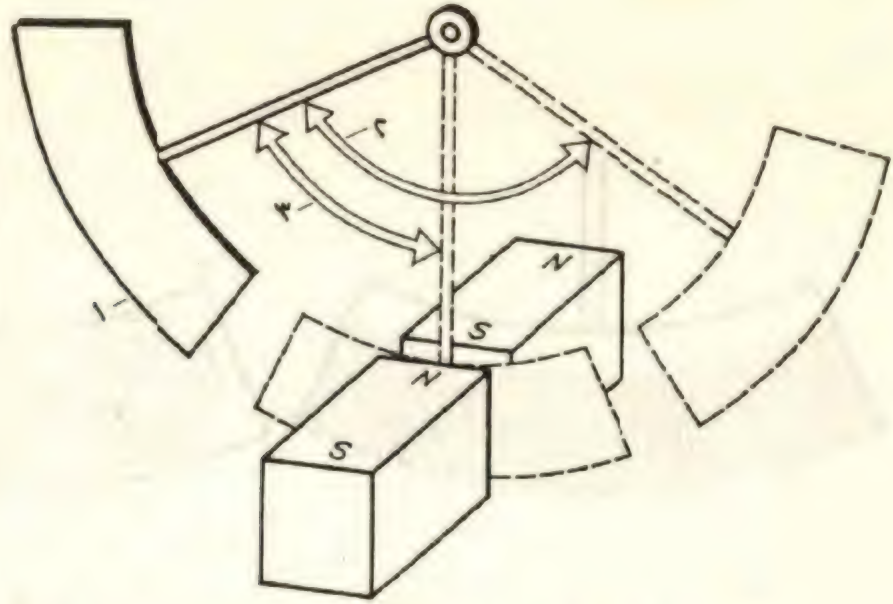
عند فصل الدائرة الكهربائية ، يبطل مفعول المجال المغناطيسي للملف ، وعند الأخذ في الاعتبار التيار المنتج بالحث الذاتي ، نجد أن القوة الدافعة الكهربائية المسببة له ، تمارس تغييراً في الاتجاه الذى أصبح عكس اتجاه القوة الدافعة الكهربائية لسابقة الناتجة بالحث ، وعليه يكون له الاتجاه نفسه كاتجاه التيار الموجود .

وعادة ، تسمى الملفات بقلوب حديد ، أى الملفات التى لها محاطة ، « ملفات المحاطة » . ولتصرف هذه الملفات أهمية في دوائر التيار المتردد ذات التردد العالى والمنخفض ، وسيناقش ذلك فيما بعد .

١٠/٦ - الحث المغناطيسي الكهربائي في الموصلات المفلطحة :

فيما سبق تناولنا بالبحث الحث المغناطيسي الكهربائي في الملفات والأسلاك المستقيمة . ولتصرف الموصلات المفلطحة بالنسبة للحث المغناطيسي الكهربائي أهمية لا تقل عن أهمية تصرف الموصلات والأسلاك المستقيمة بالنسبة للهندسة الكهربائية . ومن الشكل (١٣٠) ، نستخلص أن التيارات ذات الشدة العالية نسبياً تنتج بالحث في حلقات موصلات مقفلة (ويمكن الاستدلال على ذلك من حركة حلقة السلك التى تتبع حركة قضيب المنطيس) . ويبين الشكل (١٣٥) مثالا لاختبار يعطى معلومات تتعلق بتصرف التيارات المنتجة بالحث في الموصلات المفلطحة . يعلق قطاع من الألومنيوم (يمكن أيضاً استخدام معدن آخر غير الألومنيوم) ، بحيث يسمع له بالتأرجح . وحركة البندول هذه التى يحدثها قطاع الألومنيوم المعلق ، تتبع قوانين التذبذبات التوافقية . فإذا تأرجح هذا البندول (قطاع الألومنيوم) خلال مجال مغناطيسي ، فسرعان ما يصل إلى حالة السكون ، ويتوقف ذلك على شدة هذا المجال .

وسبب توقف التذبذبات سريعاً عندما يدخل البندول المجال المغنطيسي ، هو ظهور تيارات
منتجة بالحث ، تكون مجالاتها المغنطيسية موجهة بطريقة تعوق هذه الحركة ، وعلى ذلك فهي
تتبع قانون لينز .



شكل ١٣٥ : الحث المغنطيسي الكهربائي في ألواح الموصل .
١ - بندول من الألومنيوم .
٢ - تذبذبات في الهواء الطلق
٣ - تذبذبات خلال مجال مغنطيسي .

يبين الشكل (١٣٦) مثالا لتوزيع مسارات التيار في الموصل المفلطح ، ومن الواضح أن هذه
المسارات تكون مقفلة . وتسمى التيارات المنتجة بالحث في الموصلات المفلطحة « التيارات الدوامية » .

وحيث أن للتيارات مسارات مقفلة فإن هذه التيارات تولد كمية لا بأس بها من الحرارة
في الموصل . وفي حالات كثيرة ، تكون هذه الحرارة غير مرغوب فيها في المكثفات والأجهزة
الكهربائية . والشكل (١٣٧) يبين كيفية تجنب هذه التيارات الدوامية في الموصلات المفلطحة ،
وذلك بتزويد الموصلات بمثقيبات ضيقة .

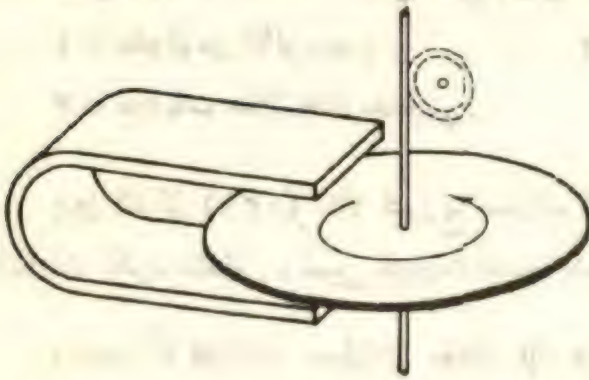
وعندما يسمح لمثل هذا الموصل المثقوب بالتأرجح خلال مجال مغنطيسي ، يتوقف الموصل
بعد فترة . ويكون تأثير الفرملة ، وبالتالي تكون التيارات الدوامية ، قد منعت بدرجة كبيرة .

على أنه يمكن أيضاً كبح التيارات الدوامية بطريقة أخرى ، بدلا من استخدام موصل مفلطح
ذو سمك معين فيمكن وضع عدة موصلات رفيعة معزولة فوق بعضها البعض لتكون موصلات
بالسمك المعين المطلوب .



شكل ١٣٧ : لوح موصل مشقوب

شكل ١٣٦ : مرور تيار في ألواح الموصل



شكل ١٣٨ : مضادة تيار دوامى
تستخدم في عداد كهربائى

تلعب هاتان الإمكانيتان لمضادة التيارات الدوامية دوراً هاماً في الهندسة الكهربائية .
في المكونات الثابتة والدوارة ، تعمل أكوام من رقائق الدينامو خصيصاً للقلوب . « ورقيقة الدينامو »
التي تعرف أيضاً « كرقيقة قلب » ، هي عبارة عن معدن مغنطيسى طرى ، يعزل من جاذب واحد ،
بطرق كيميائية كهربائية (وأحياناً بتبطينها بالورق) .

وفي الهندسة الكهربائية ، تستخدم التيارات الدوامية للمضادة ، خصوصاً في تقنيات
الاختبار والقياس ، وتختبر عادة مقدرة المحركات الكهربائية على بدء الحركة بواسطة فرامل
التيار الدوامى ، ويبين الشكل (١٣٨) ترتيباً لمضادة تيار دوامى تستخدم في عداد كهربائى .

الفصل الحادى عشر

تأثيرات المجالات الكهربائية

١/١١ - المجالات المتدفقة المتجانسة وغير المتجانسة :

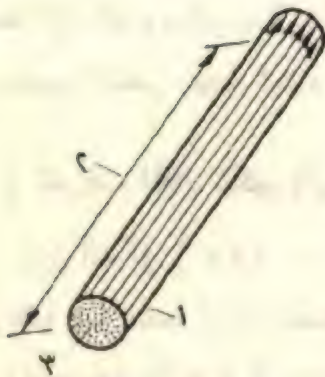
فيما يتعلق بأبحاث الشحنات الكهربائية الاستاتيكية ، ذكرنا أنها تلتصق بالأسطح ، وهي قادرة على الشحن بالحث . وللاستطراد فى شرحنا ، نفترض وجود ظاهرة تصاحب الشحنات الكهربائية المتحركة والتيار الكهربائى تشبه الظاهرة التى تصاحب المجالات المغنطيسية . وهناك تمييز بين المجالات الكهربائية فى الموصلات وفى غير الموصلات .

المجال المتدفق المتجانس فى موصل :

يقال عن التيار الكهربائى ، أنه حركة إلكترونات فى اتجاه مفضل . ويمكن أن يكون الحيز الذى تحدث فيه هذه الحركة ، قطعة من السلك ، كما هو مبين بالشكل (١٣٩) . وعادة يسمى الحيز الذى تحدث فى نطاقه ظاهرة كهربائية « المجال الكهربائى » . وعندما تحدث ظاهرة كهربائية فى موصل حامل للتيار ، فإننا نتكلم ، فى هذه الحالة ، عن مجال كهربائى متدفق . وتبين الممرات التى تتخذها الإلكترونات ، الخطوط الكهربائية للقوة ، واتى عبر عنها فى الشكل ، بخطوط متقطعة ، لتمييزها عن الخطوط المغنطيسية للفيض .

فإذا كان الموصل من النوع المستقيم ، ومساحة مقطعه المستعرض منتظمة ، تكون الخطوط الكهربائية للقوة متوازية بعضها مع بعض . ويمكن تعيين قيمة جهد ج ، مسلط على هذا الموصل ، لأى مقطع طولى ل منه . وتسمى النسبة بين الجهد المسلط وبين طول الموصل « الشدة الكهربائية » ش ، وعليه فإن :

$$ش = \frac{ج}{ل}$$



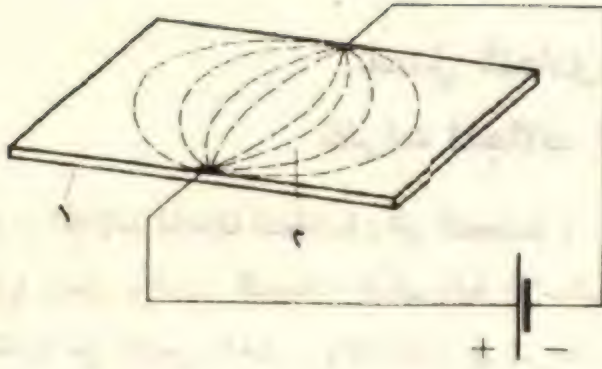
شكل ١٣٩ : مجال كهربائى متجانس متدفق فى موصل

من الطراز المستقيم .

١ - موصل .

٢ - طول الموصل .

٣ خطوط المجال الكهربائى .



شكل ١٤٠

شكل المجال في موصل من الطراز اللوح

١ - موصل من الطراز اللوح .

٢ - مجال غير متجانس متدفق .

المجال المتدفق غير المتجانس في موصل :

عندما يسرى تيار كهربائي خلال موصل من نوع اللوح ، فإن مسارات الممرات التي تتخذها الإلكترونات ، وبالتالي مسار خطوط القوة ، تكون غير مستقيمة تماماً ، وإنما تشبه تقريباً التشكيل المبين في الشكل (١٤٠) .

يوصل اللوح الموصل ، وهو لوح معدني في هذه الحالة ، بدائرة كهربائية . وبالنسبة للمسار الذي تتخذه خطوط لقوة ، يمكن النص على ما يلي :

تمتد الخطوط الكهربائية للقوة من القطب الموجب إلى القطب السالب .

وتميل خطوط القوة للسير كل على حدة في المجال غير المتجانس ، وهذه الحقيقة يمكن وصفها كما يلي :

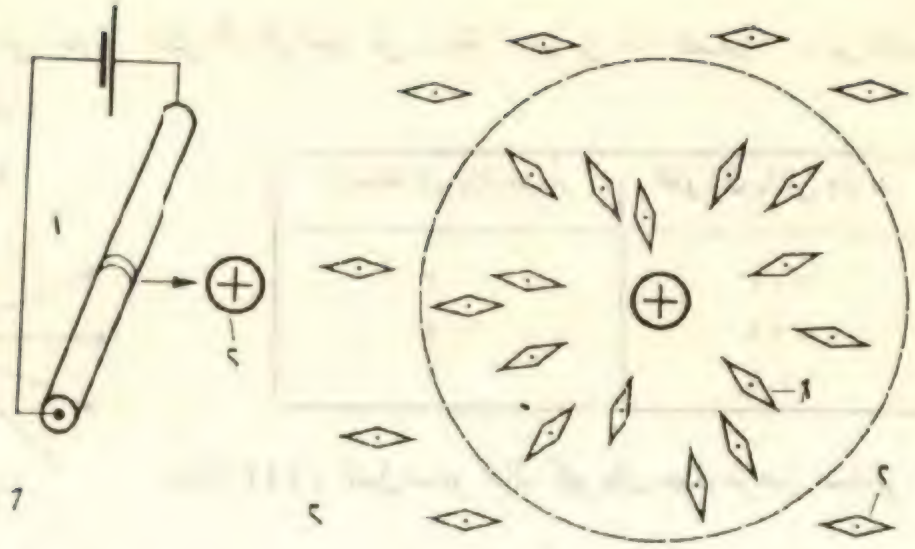
تبذل قوة شد في اتجاه خطوط القوة ، بينما تبذل قوة ضغط عمودية على خطوط القوة .

١١/٢ - المجالات الكهربائية في غير الموصلات :

يمكن تتبع المجالات الكهربائية المتدفقة في الموصلات ، بسهولة ، وذلك بواسطة جهاز بيان كهربائي . وعلى كل ، فإنه من المفيد إيجاد ما إذا كان ما يحيط بالموصل الحامل للتيار يمارس أفعال قوة مشابهة لتلك التي تصاحب الشحنات الكهربائية الأستاتيكية ، والتي يمكن استبيانها بواسطة الإلكتروسكوب (المكشاف الكهربائي) . ويجب إبعاد أطراف توصيل الإلكتروسكوب عن بعضهما البعض خلال شحنه ، لتجنب فعل القوة .

(١) تعريف المجال الكهربائي في غير الموصل :

يبين الشكل (١٤١ - ١) مثالا لمقطع مستدير من موصل مستقيم ، يفترض قطعه من دائرة كهربائية . وعندما ترتب قصاصات صغيرة من الورق حول هذا المقطع ، بحيث تكون حرة الحركة ، فإنها تتجه تجاه الموصل في حدود مسافة معينة ف من مقطع الموصل (الشكل ١٤١ - ٢) .



شكل ١٤١ : تمثيل مجال كهربائي في غير موصل

(١) (٢)

- ١ - دائرة .
- ٢ - مقطع مستدير من الموصل .
- ١ - قصاصات من الورق بنضبط اتجاهها بواسطة خطوط القوة .
- ٢ - قصاصات من الورق خارج نطاق تأثير المجال الكهربائي .

وتتجه قطع الورق الصغيرة التي لم تتجه في بادئ الأمر في هذا الاتجاه المفضل ، تجاه الموصل عندما يسمح بمرور تيار كهربائي فيه . وتكون قصاصات الورق التي لا تتجه في هذا الاتجاه ، خارجة عن نطاق تأثير القوة التي يبذلها المجال الكهربائي حول الموصل الحامل للتيار .

وبرسم خط يصل بين أطراف قصاصات الورق ومركز مقطع الموصل ، يمكن الحصول على تمثيل مستو لمجال كهربائي (الشكل ١٤٢) .

ويكون الحيز المحيط بجسم مشحون كهربائياً ، هو المجال الكهربائي .

ويقال لمجال كهربائي أنه موجود في نقطة ما ، إذا بذلت قوة من أصل كهربائي على أي جسم مشحون موضوع في هذه النقطة .

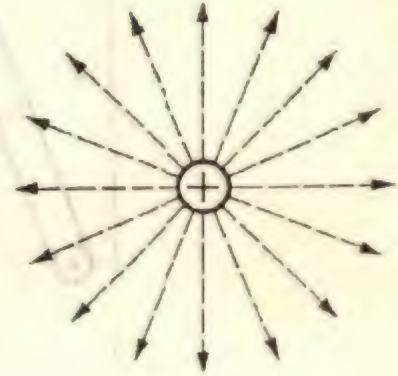
قانون كولوم :

إذا أجرى اختبار معمل بسيط ، للتأكد من وجود قوة يبذلها جسم على جسم آخر ، فيبين هذا الاختبار أن لهذه القوة قيمة أعلى ، عند أي نقطة قريبة من مصدر المجال الكهربائي ، من قيمتها عند أي نقطة على مسافة بعيدة من هذا المصدر . وقد بحث كولوم (١٧٣٦ - ١٨٠٦) هذه العلاقات المتبادلة ، وأوضح ما يعرف في أيامنا هذه « بقانون كولوم » .

فإذا قيل مثلاً ، أن قوة مقدارها ١٠٠ ملي باوند موجودة في نقطة على مسافة ٢ سم من مصدر المجال الكهربائي ، فإن قوة مقدارها ٢٥ ملي باوند يمكن أن توجد على مسافة ٤ سم ،

وقوة مقدارها ١١,١ ملى باوند يمكن أن تتواجد على مسافة ٦ سم من هذا المصدر . ومن ذلك نحصل على الجدول التالي :

المسافة ف بالسنتيمتر	القوة ق بالملى باوند
١	١٠٠
٤	٢٥
٦	١١,١



شكل ١٤٢ : تمثيل مستو لمجال كهربائى حول موصل مستدير

ويتبين من ذلك ، أنه على مسافة ٤ سم انخفضت القوة إلى $\frac{1}{4}$ (ربع) قيمتها الأصلية ، وعلى مسافة ٦ سم انخفضت القوة إلى $\frac{1}{9}$ (تسع) قيمتها الأصلية ويمكن من هذه القيم العملية ، استنتاج الصيغة التالية :

للحصول على قوة المجال الكهربائى ، تضرب القوة فى مربع المسافة .

$$\text{أى أن : } \text{ق مجال} = \text{ق} \times \text{ف}^2$$

بتطبيق ذلك على المثال السابق ، نحصل على ما يلى :

$$٤٠٠ = ٤ \times ١٠٠ = ٢ \times ٢ \times ١٠٠ = ٢٢ \times ١٠٠$$

$$٤٠٠ = ١٦ \times ٢٥ = ٤ \times ٤ \times ٢٥ = ٢٤ \times ٢٥$$

$$٤٠٠ = ٣٦ \times ١١,١ = ٦ \times ٦ \times ١١,١ = ٢٦ \times ١١,١$$

ويمكن التعبير عن ذلك بالصيغة التالية :

تتناقص القوة لفعالة لمجال كهربائى بمقدار مربع المسافة .

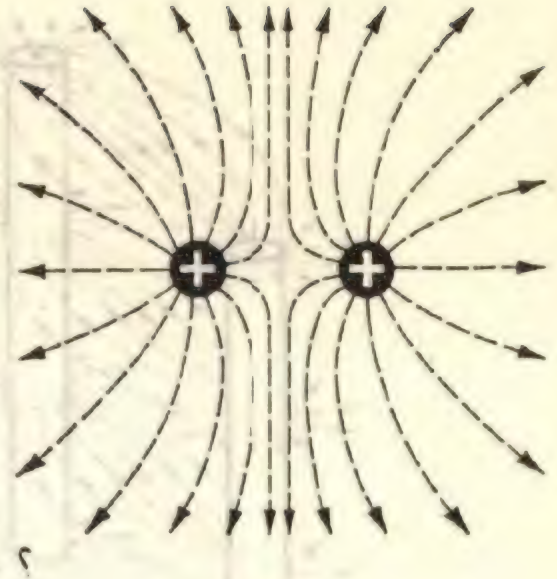
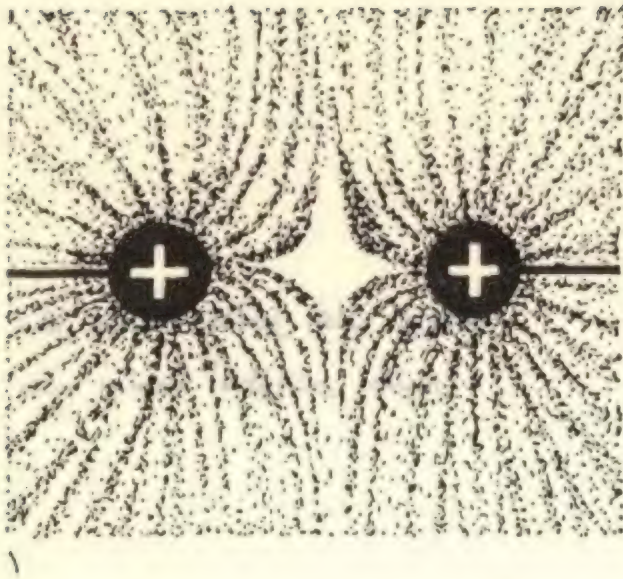
(ب) تشكيلات المجالات الكهربائية :

للحصول على تشكيل لمجال كهربائى ، توضع موصلات ذات أشكال مختلفة فى طبقة رقيقة من الزيت المنغلى بحبيبات « الصميد » semolina . فند سريان التيار الكهربائى فى هذا الموصل ، تترتب هذه الحبيبات فى اتجاه خطوط القوة ، وتعطى بذلك تشكيلا للمجال . وتبين الأشكال الآتية بضع تشكيلات للمجالات الكهربائية .

وعند دراسة هذه التشكيلات ، يمكن التمييز بسهولة بين تشكيلين أساسيين للمجالات الكهربائية :

مجالات كهربائية متجانسة ومجالات كهربائية غير متجانسة .

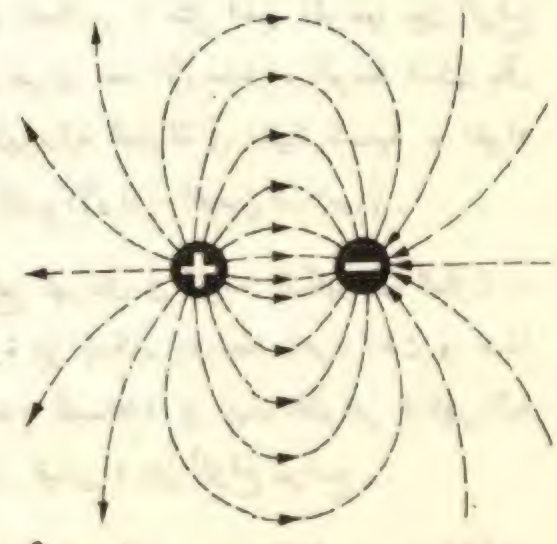
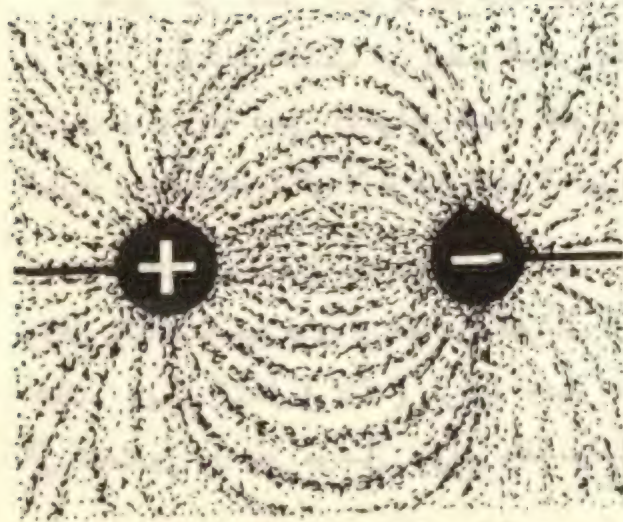
ويمكن الحصول على مجال متجانس بوضع لوحين معدنيين عريضين إلى حد ما ، على مسافة صغيرة من بعضهما البعض . وتسمى هذه الترتيبية « المكثف الكهربائى » أو « المواسع » . وتلعب المواسعات دورا هاما فى الهندسة الكهربائية . وسيرد وصفها فيما بعد .



شكل ١٤٣ : تشكيلات المجالات الكهربائية حول مقطعين لموصلين لهما نفس القطبية

١ - تشكيل المجال الكهربائي كنتيجة للتجربة .

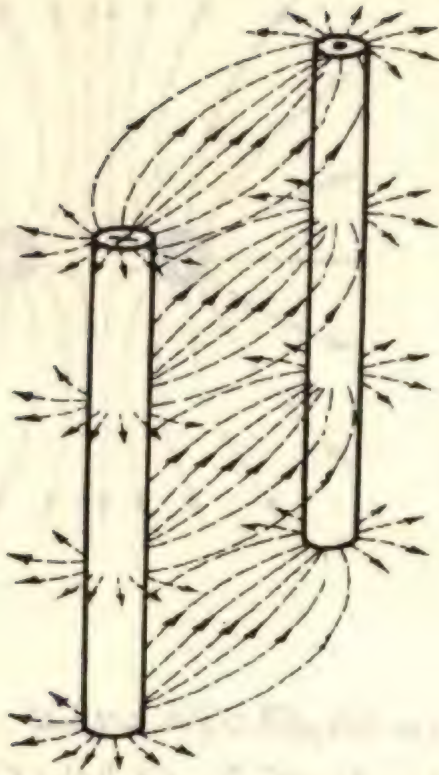
٢ - تمثيل تخطيطي لمجال كهربائي .



شكل ١٤٤ : تشكيلات مجالات كهربائية حول مقطعي موصل مختلفي القطبية

١ - تشكيل المجال الكهربائي كنتيجة للتجربة .

٢ - تمثيل تخطيطي لمجال كهربائي .



شكل ١٤٥ : تشكيل لمجال كهربائي
منتج بواسطة أسطوانتين معدنيتين

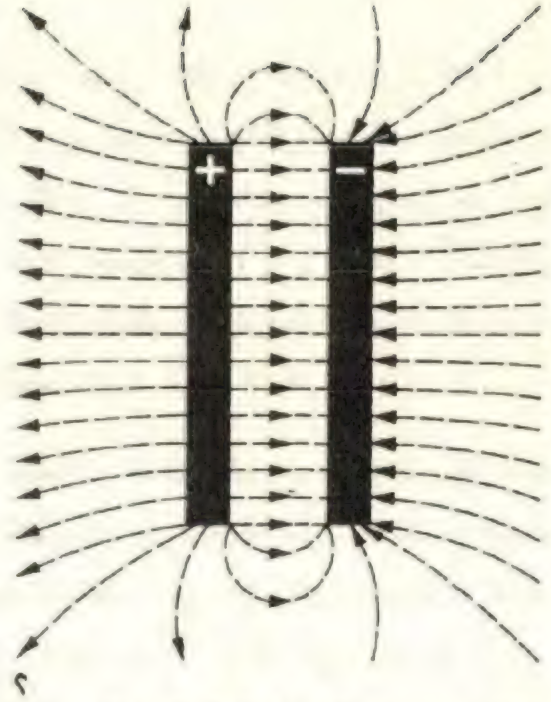
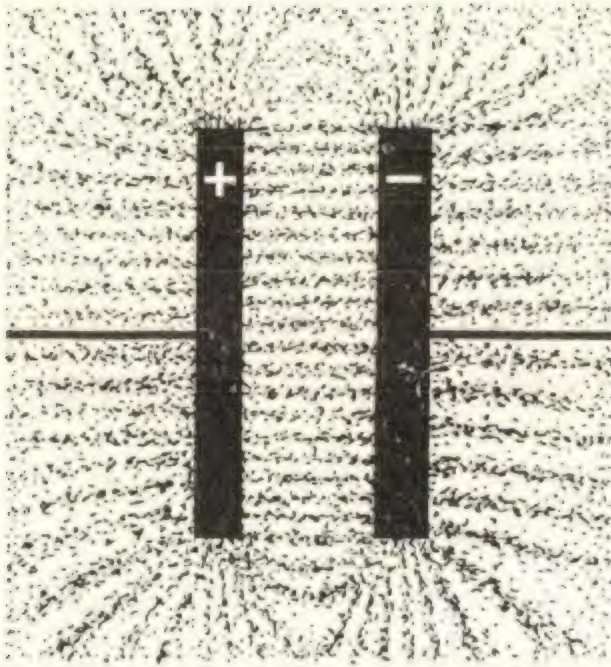
٣/١١ - كيات لتعيين المجالات الكهربائية المتجانسة :

(١) الوسط الكهربائي العازل - استقطاب الوسط الكهربائي العازل :

يمكن مل* الحيز الذي يوجد فيه مجال كهربائي متجانس ، مثل الحيز الموجود بين ألواح مواسع ، بأوساط تختلف عن بعضها البعض تماما . وتعرف هذه الأوساط « الوسط الكهربائي العازل » ، كما تسمى الأنواع المختلفة للأوساط الكهربائية العازلة في الحياة العملية « المواد العازلة » ، أى المواد التي لا توصل التيار الكهربائي (القسم الأول - الفصل السادس) .

ويمكننا افتراض حدوث تغيرات أيضا لها طابع كهربائي في الوسط الكهربائي العازل ، وذلك بإثبات وجود قوى في المجال الكهربائي ، علاوة على إمكان ملاحظة ظاهرة الحث في هذا المجال . ويبين الشكل (٤٧) ترتيبية اختبار ، تستخدم للمساعدة في تبيان الظواهر الكهربائية التي تحدث في حيز غير موصل . تولج حلقة موصلة بجهاز قياس ، بين ألواح مواسع .

فعند تشغيل هذه الدائرة الكهربائية ، يحدث انحراف عابر لمؤشر جهاز القياس ، وإذا قطعت التغذية عن هذه الدائرة الكهربائية ، ووصل جهاز القياس بعد ذلك بلوحى مواسع ، ينحرف المؤشر أيضا لفترة وجيزة . ويتضح من ذلك سريان تيار كهربائي خلال غير الموصل تحت هذه الظروف المعطاة .

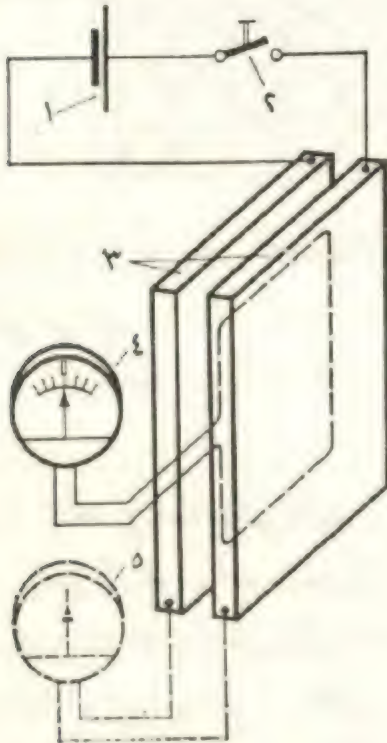


شكل ١٤٦ : تشكيل المجال الكهربائي بين لوحين معدنيين

١ - تشكيل المجال الكهربائي كنتيجة للتجربة .

٢ - تمثيل تخطيطي لمجال كهربائي .

وتفسر هذه الظاهرة على أساس ما سبق شرحه . لقد تكونت على لوحى المواسع ، شحنات كهربائية متضادة القطبية ، تعادلت عن طريق جهاز القياس ، وذلك عند قطع التغذية عن الدائرة الكهربائية . أما عند تشغيل هذه الدائرة ، فتفسر الظاهرة التي حدثت كما يلي :



شكل ١٤٧ : شكل يبين ظاهرة كهربائية تحدث في

مجال متجانس

١ - مصدر للجهد .

٢ - مفتاح كهربائي .

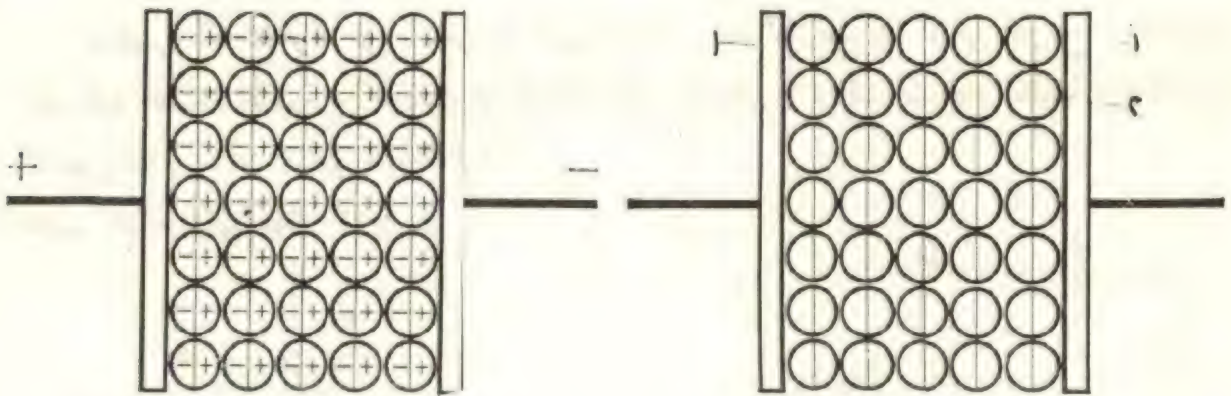
٣ - ألواح المواسع .

٤ - حلقة الموصل الموصلة بجهاز القياس .

٥ - جهاز القياس الموصل بالألواح المواسع .

إذا رجعنا إلى نموذج الذرة المبين في القسم الأول - الفصل الثاني ، تتكون مواد كثيرة من اتحاد ذرتين أو أكثر من تكوين مختلف ، فثلا كلوريد الصوديوم يتكون من اتحاد الصوديوم والكلور . ويسمى أصغر جزء من اتحاد صوديوم وكلور ، أى اتحاد ذرة صوديوم مع ذرة كلور ، « الجزى » . فثلا جزى ماء يتكون من ذرتين هيدروجين (يد) ، وذرة أكسجين (أ) ويعبر عن هذا الاتحاد بالرمز (يد أ) . وفي حالة التعادل الكهربائى للوسط الكهربائى العازل ، فإن الإلكترونات الموجودة في جزيئاتها ، لا تتخذ إتجاها مفضلا لها (الشكل ١٤٨) .

وعندما يسלט جهد على ألواح المواسع ، تنضبط الشحنات الكهربائية الموجودة على الجزيئات بطريقة معينة . ويسمى هذا الانضباط أو الإزاحة للشحنات على الجزيئات « استقطاب الوسط الكهربائى العازل » (الشكل ١٤٩) . ويكون إتجاه الشحنات على الجزيئات ، بحيث ، تضاد الشحنة الموجبة لجزى لوح المواسع المشحون السالب . وهذا يعنى ، أنه إذا سلط جهد على ألواح المواسع ، فإنه يتكون مجال كهربائى . وبتعبير آخر يشحن المواسع ، ويصاحب ذلك ظهور تيار شحن وتيار استقطاب ، ويعبر عن هذين التيارين عادة « بتيار الإزاحة للوسط الكهربائى العازل » .



شكل ١٤٩ استقطاب الوسط الكهربائى العازل

شكل ١٤٨ : الجزيئات المتعادلة كهربائيا بين

لوحى مواسع

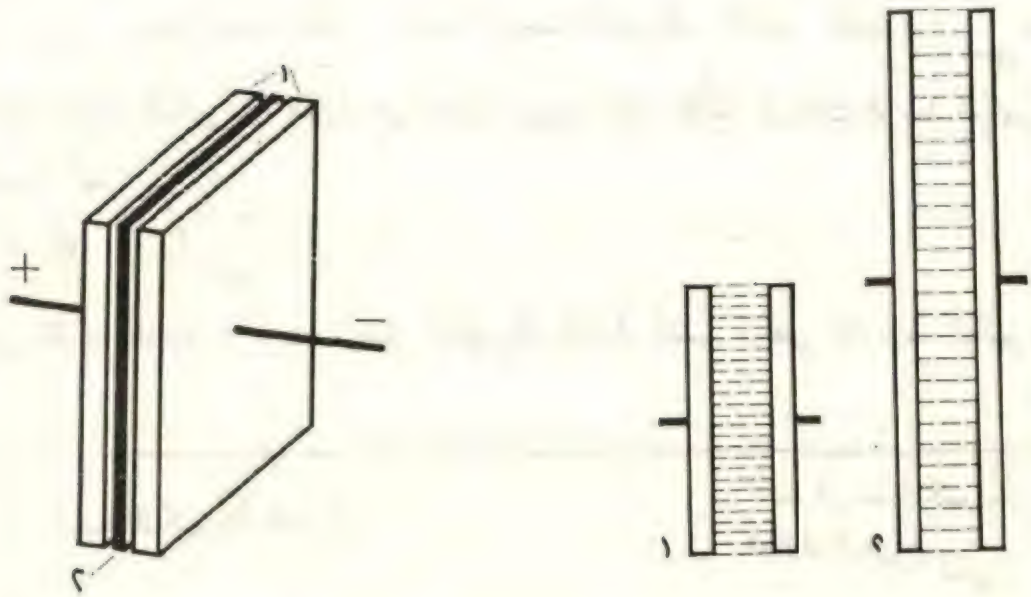
١ - لوحا مواسع . ٢ - جزيئات .

(ب) كثافة الإزاحة الكهربائية :

تحمل ألواح المواسع مشحون ، كمية معينة من الكهرباء لـ (القسم الأول - الفصل الرابع) . وتتوقف شدة المجال الكهربائى المتجانس ، التى يمكن بيانها بتباعد خطوط القوة ، على كمية الكهرباء ومساحة ألواح المواسع . والتمثيل المبين في الشكل (١٥٠) ، مبنى على إفتراض أن كمية الكهرباء (والتى اصطلح عليها كشحنة) تكون هى نفسها في كلا المواسعين كما هو مبين في هذا الشكل ، أى أن

ك⁻_١ = ك⁻_٢ ، وأن مساحة ألواح المواسع تختلف عن بعضها لبعض ، أى أن $\epsilon_1 \neq \epsilon_2$. وفى كلتا الحالتين يتساوى عدد خطوط القوى ، ويمكن التحقق من ذلك بعدها ، ومع ذلك فإنها تكون متباعدة بمسافات أكبر ، فى حالة المواسع الأكبر . وهذا يبين أنه يمكن الحصول على مقياس لكثافة شحنة مواسع من خارج القسمة $\frac{K^-}{\epsilon}$. وإذا وضع لوح معدنى داخل مجال مواسع بنفس الطريقة ، كما هو مبين بالشكل (١٥١) ، فإن شحنة كهربائية ك تنتج بالحث على هذا اللوح . وإذا كانت مساحة اللوح ϵ مساوية لمساحة المواسع ϵ^- ، تكون قيمة الكثافة من خارج القسمة $\frac{K}{\epsilon}$ مساوية لقيمتها من خارج القسمة $\frac{K^-}{\epsilon^-}$. ويسمى خارج القسمة هذا « كثافة الإزاحة الكهربائية » ويرمز لها بالرمز ك⁻ ، أى :

$$\frac{K^-}{\epsilon^-} = \frac{K}{\epsilon} = K^-$$



شكل ١٥١ : تعيين كثافة الإزاحة

١ - لوحا مواسع .

٢ - ألواح معدن مستحثة ذات كثافة $\frac{K}{\epsilon}$

شكل ١٥٠ : تمثيل كثافة الشحنة

١ - مواسع بلوحيين صغيرين .

٢ - مواسع بلوحيين كبيرين .

ويسمى خارج القسمة $\frac{K^-}{\epsilon^-}$ « كثافة الشحنة للمواسع » ويرمز لها بالرمز ك⁻ش أيضا.

ونحصل على وحدة كثافة الإزاحة الكهربائية من كمية لكهرباء (الشحنة) ، معبرا عنها بالأمبير ثانية (مب . ث) ، والمساحة معبرا عنها بالسنتيمتر المربع (سم^٢) ، وعليه تكون وحدة كثافة الإزاحة الكهربائية هي : $\frac{\text{مب. ث.}}{\text{سم}^2}$

(ج) معامل الوسط الكهربائي العازل :

للحصول على استقطاب ، وبالتالي على مجال متجانس ، تلزم شدة كهربائية ش لها قيمة معينة . ويتوقف ذلك على نوع الوسط الكهربائي العازل المستخدم في المواسع . وقابلية الأوساط الكهربائية العازلة لاكتساب الاستقطابية ، هي خاصية تميز بثابت الوسط الكهربائي العازل ، الذي يعرف أيضا « بمعامل الوسط الكهربائي العازل » ع . وبدراسة الاستقطاب في الفراغ

وجد أن « ثابت التأثير » ع₀ « يساوي ١٠٠٨٨٦ × ١٠ - ١٢ $\frac{\text{مب. ث.}}{\text{فل} \times \text{سم}}$ »

ويمكن التعبير عن أوساط كهربائية عازلة أخرى بقيم مضاعفة من هذه القيمة . وتسمى القيمة التي تنحرف عن قيمة ثابت التأثير « بثابت الوسط الكهربائي العازل النسبي » ع نسبي . ومعامل الوسط الكهربائي العازل هو حاصل ضرب ثابت التأثير في ثابت الوسط الكهربائي العازل النسبي ، أي :

$$\text{ع} = \text{ع}_0 \times \text{ع نسبي}$$

وتبين القائمة التالية ، ثابت الوسط الكهربائي العازل النسبي لبعض الأوساط الكهربائية العازلة :

ثابت الوسط الكهربائي العازل النسبي ع نسبي	الوسط الكهربائي العازل
١	كوارتز
٧	ميكا
٤	مطاط
٢,٧	بونا (Buna)
٥,٥ - ٦,٥	صيني صلد (مصقول)
٥,٥ - ٦,٥	أستيت
٣ - ١٠	زجاج
٢,٥ - ٤	ورق مشرب بالبرافين

ثابت الوسط الكهربائي العازل النسبي ع نسبي	الوسط الكهربائي العازل
٢ - ٦	ورق مضغوط
٢ - ٢,٥	زيت محولات
١	فراغ
١,٠٠٠٦	هواء
٨٠	ماء مقطر عند ٢٠ م°
	مواد فخارية خاصة :
٦ - ٧	كاليت (Calit)
٣٠ - ٥٠	كوند نسان تمبا (Condensan Tempa)
٤٠٠٠ - ٧٠٠٠	إبسيلان (Epsilan)
	لدائن (بلاستيك) :
٢,٤	استير وفلكس (Styroflex)
٢,٨ - ٣,٤	كلوريد عديد الفينيل
٢,٩	بكاليت

(د) العلاقة بين الشحنة ومقاس الألواح والشدة الكهربائية وثوابت الوسط الكهربائي العازل :

يمكن أيضا تعيين كثافة الشحنة $\frac{ق}{س}$ لمواسع ما ، إذا عرفت الشدة الكهربائية ش ، وثابت الوسط الكهربائي النسبي ع نسبي . ولذلك أهمية في تصميم وتكوين المواسعات كما سيبين بعد .

فإذا كانت الشدة الكهربائية هي ش = $\frac{ج}{ل}$ معبرا عنها $\frac{فل}{سم}$ ، وثابت الوسط الكهربائي العازل هو ع = ٥ ع نسبي معبرا عنه $\frac{مب . ث}{فل \times سم}$ ، فضرب ش × ع نحصل على الوحدة التالية :

$$\frac{فل}{سم} \times \frac{مب . ث}{فل \times سم} ، \text{ أي نحصل على } \frac{مب . ث}{٢ سم}$$

هذه الوحدة هي نفسها وحدة كثافة الشحنة أو وحدة كثافة الإزاحة .

ويمكن التعبير عن كثافة الشحنة لمواسع ، بطريقتين :

١ - ك ش = $\frac{ك}{س}$ (نسبة شحنة مواسع إلى مساحة لوحة) .

٢ - $K_{ش} = ع \times ش$ (حاصل ضرب نوع الوسط الكهربائي العازل لمواسع في الشدة الكهربائية للوسط) .

(٥) المواسعات :

$$من K_{ش} = \frac{K}{ح} ، K_{ش} = ع \times ش = \frac{ج}{ل} \times ع$$

$$ينتج أن $\frac{ك}{ح} = \frac{ج}{ل} \times ع$$$

وعند حل هذه المعادلة لإيجاد قيمة ك :

$$ك = ع \times \frac{ج}{ل} \times ح$$

وفي هذه المعادلة ، لمواسع إزالة التداخل من المحركات الكهربائية المنزلية ، أو في مرشح موجه لمقوم ، تستخدم الكميات التالية :

١ - مساحة اللوح ح

٢ - المسافة بين الألواح ل

٣ - نوع الوسط الكهربائي العازل مع ثابت الوسط الكهربائي العازل ع .

وتؤخذ هذه الكميات في الاعتبار ، عند كتابة هذه المعادلة كما يلي :

$$ك = ج \times \left[\frac{ح}{ل} \times ع \right]$$

والتعبير الموجود بداخل المستطيل $\frac{ح}{ل} \times ع$ ، لمواسع من النوع المبين أعلاه ، هو ثابت

يطلق عليه « المواسعة » ويرمز لها بالرمز س ، وهي مشتقة من السعة .

وتكون السعة أعلى كلما كان مقياس ألواح المواسع أكبر ، وكانت مسافة الألواح أصغر ،

مع افتراض أن الوسط الكهربائي العازل يكون ثابتا . وعليه فإن :

$$ك = س \times ج ، س = \frac{ك}{ج}$$

بالتمعق في دراسة تصميم المواسعات ، نجد أن المصممين يبذلون جهودا للوصول إلى تصميم

مواسعة عالية ، بوضع الألواح أقرب ما يمكن من بعضها البعض ، وباختيار وسط كهربائي

عازل ذي متانة كهربائية عازلة عالية ، (انظر القسم الأول - الفصل السادس) ، وباستخدام

رقائق رفيعة من المعدن على مسافات صغيرة .

ووحدة المواسعة هي $\frac{\text{مب. ث}}{\text{فل}}$ ، وتسمى « فاراد » نسبة إلى عالم الطبيعيات الانجليزي فاراداي .
والفاراد الواحد عبارة عن كمية كهربائية ذات قيمة عالية . ويفضل عمليا استخدام وحدات مشتقة من الفاراد مثل :

$$1 \text{ ميكرو فاراد (ف) } = 10^{-6} \text{ ف}$$

$$1 \text{ نانوفاراد (نف) } = 10^{-9} \text{ ف}$$

$$1 \text{ بيكوفاراد (بف) } = 10^{-12} \text{ ف}$$

المواسعة س هي نسبة الشحنة ك إلى فرق الجهد أو الفلطة ج بين الموصلات، وعلى ذلك :

$$س = \frac{ك}{ج}$$

(و) الحسابات المتعلقة بالمواسعات :

مثال :

مواسع مقاس لوحه 6 سم × 8 سم . استخدمت به ميكا بسبك 1 مم كوسط كهربائي عازل .
فا مواسعة هذا المواسع ؟

المعطيات : مقاس اللوح 6 سم × 8 سم

المسافة بين الألواح ل = 1 مم

ثابت الوسط الكهربائي النسبي للميكا ع نسبي = 7

المطلوب : المواسعة س

الحل :

$$س = ع \times 0.0001 \times \frac{ع}{ل}$$

$$= 8 \times 6 \times 2 = 96 \text{ سم}^2 ، \text{ وعلى ذلك فان } :$$

$$س = 0.0001 \times 96 \times 7 \times 10^{-12} \times 10^{-3} = 6.72 \times 10^{-16} \text{ ف}$$

$$= 6.72 \times 10^{-16} \times 10^{-12} = 6.72 \times 10^{-28} \text{ ف}$$

هذا المواسع له مواسعة قيمتها 6.72 بيكوفاراد .

مثال :

سلط جهد 15000 فلت على مواسع له وسط كهربائي عازل من الورق المضغوط سمكه 2 مم .
فا الشدة الكهربائية للمواسع ؟

المعطيات : الجهد ج = 15000 فلت

المسافة بين الألواح ل = 2 مم

المطلوب : الشدة الكهربائية ش

الحل :

$$ش = \frac{ج}{ل}$$

$$ش = \frac{١٥٠٠٠}{٠,٢} = ٧٥٠٠٠ \text{ فلت/سم}$$

الشدة الكهربائية للمجال على المواسع هي ٧٥٠٠٠ فلت/سم .

مثال :

سلط جهد ٢٢٠ فلت على مواسع ذي مواسعة قيمتها ١٦ ميكرو فاراد . فا الشحنة الموجودة على المواسع ؟

المعطيات : المواسعة = ١٦ ميكرو فاراد

الجهد ج = ٢٢٠ فلت

المطلوب : الشحنة الكهربائية ك

الحل :

$$ك = س \times ج$$

$$= ١٦ \times ١٠^{-٦} \times ٢٢٠$$

$$= ٣,٥٢ \times ١٠^{-٣} \text{ م.ب.ث}$$

الشحنة الموجودة على المواسع هي ٣,٥٢ $\times ١٠^{-٣}$ أمبير ثانية .

(ز) فقد العزل لمواسع :

إذا سلط جهد على جهاز قياس فرق الجهد الكهربائي المطلق (انظر القسم الثاني - الفصل الثالث) ، تقترب الألواح من بعضها البعض ، وفي نفس الوقت يتكون مجال كهربائي متجانس بينهما . وتشبه هذه الترتيبية ، ترتيبية مواسع . فإذا كانت هذه النبيطة غير مفرغة (مثلاً ، عن طريق القياس) فإن الألواح لا تظل على نفس المسافة لفترة طويلة ، بل يحدث تفريغ ، ويكون هذا التفريغ نتيجة لموصلية الوسط الكهربائي العازل . ولذلك تكون مقاومة العزل للوسط الكهربائي العازل عالية جداً ، مع أنه سيمر تيار صغير حتماً . ويسمى هذا التيار « تيار العزل » أو « تيار التسرب » الذي يسبب اضمحلال المجال الكهربائي . وعندما يظل الجهد مسلطاً على المواسع لفترة أطول ، يمر تيار تسرب باستمرار ، يمثل مع الجهد المسلط فقد قدرة المواسع . ويسمى فقد القدرة هذا « فقد العزل » ويمكن أن يكون لفقد القدرة شكل آخر ، إذا كان المواسع مغذى بجهد متردد . وفي مجال دراستنا لاستقطاب الوسط الكهربائي العازل ذكرنا أن تيار إزاحة الوسط الكهربائي العازل يسري نتيجة لاستقطاب جزئيات هذا الوسط . وإذا سلط تيار متردد على المواسع ، يعرض الوسط الكهربائي العازل إلى انعكاس مستمر لأقطبية .

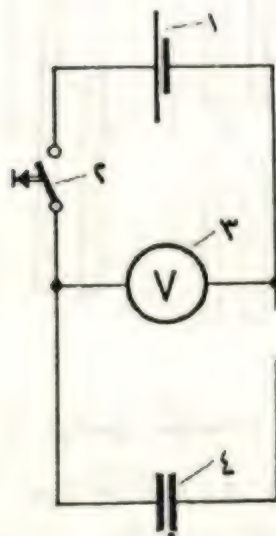
ويمثل تيار الإزاحة للوسط الكهربائي العازل ، مع الجهد المسلط ، فقد قدرة المواسع .
ويسمى فقد القدرة هذا « فقد الوسط الكهربائي العازل » .

من هذا يتبين أن المواسعات التي تعمل بالتيار المستمر تكون معرضة لفقد عزل ، بينما تكون المواسعات التي تعمل بالتيار المتردد معرضة لكل من فقد العزل وفقد الوسط الكهربائي العازل . ويظهر هذا الفقد في شكل حرارة تتولد في المواسع الذي يحدث فيه الفقد . ولقد بذلت مجهودات كبيرة للمحافظة على قيمة هذا الفقد صغيراً بقدر الإمكان . ومن البديهي ، أنه يجب اختيار عازل ذي جودة عالية . ويكون ثابت الزمن τ مقياساً لهذه الجودة .

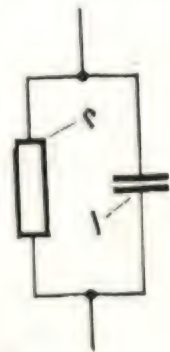
ولشرح ثابت الزمن τ ، نأخذ في الاعتبار مواسعاً (لا داعي لوصفه هنا) ويكون لمواسعته τ وللمقاومة عزل وسطه الكهربائي العازل R أهمية .

ونفرض استخدام هذا المواسع على التيار المستمر لسهولة الشرح .

لتمثيل مقاومة العزل R ، يمكن استخدام رسم تخطيطي لدائرة كهربائية مكافئة ، تمثل مواسعاً ليس له فقد ، موصل على التوازي مع مقاوم ، تكون مقاومته مكافئة للعزل (الشكل ١٥٢) وتسمى هذه المقاومة « مقاومة الفقد » .



شكل ١٥٢
رسم تخطيطي لدائرة كهربائية مكافئة لمواسع
١ - مواسع ليس له فقد ٢ - مقاومة العزل



شكل ١٥٣ : ترتيب دائرة كهربائية لتعيين ثابت الزمن

- ١ - مصدر للجهد .
- ٢ - مفتاح كهربائي بذراع .
- ٣ - فلظمتر .
- ٤ - عينة اختبار (مواسع) .

ويكون حاصل ضرب المواسعة التي ليس لها فقد C في مقاومة الفقد R هو ثابت الزمن τ

$$\tau = RC$$

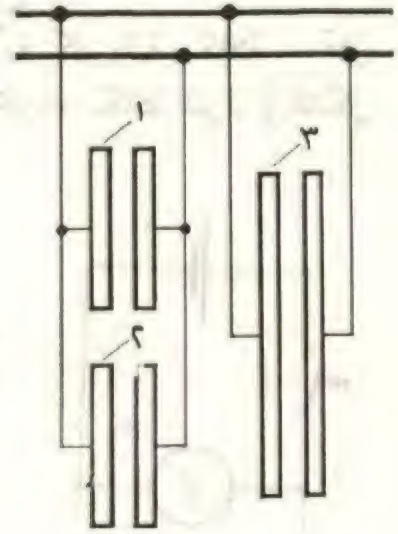
وكلما طالت الفترة التي يستبقى خلالها مواسع مشحون شحنته ، بالمقارنة بمواسع آخر له نفس المواسعة ، كانت جودة عزل هذا المواسع أعلى . المواسع الذي ليس له فقد ، يكون قادراً على الاحتفاظ بشحنته لفترة لا نهائية . وحتى الآن لم يمكن إنتاج مثل هذا المواسع . وهناك علاقة بين ثابت الزمن τ والجهد المسلط J لمواسع . وثابت الزمن τ هو الوقت الذي يفرغ خلاله

مواسع ليس له فقد عن طريق مقاوم موصل على التوازي إلى $\frac{1}{2,72}$ من جهد شحنته .

وعلى أساس هذه العلاقة يمكن تعيين المواسعة، مع التقريب البسيط، وبمساعدة طرق بسيطة نسبياً، ويلزم لذلك مصدر للجهد بتيار مستمر، وقاطع دائرة كهربائية، وفلطمتر، وساعة، (الشكل ١٥٣). والفقد الذي يمارسه مواسع يميز بفقد عزل وبفقد وسط كهربائي عازل. وفي الحياة العملية يجري كل شيء في سبيل المحافظة على هذا الفقد أصغر ما يمكن. ولا جدال في أن لجودة العزل للوسط الكهربائي العازل أثره على فقد المواسع. وثابت الزمن τ هو بيان مناسب لتقييم جودة العزل.

١١/٤ - ترتيب الدائرة الكهربائية للمواسعات :

فيما يتعلق بمناقشة الدوائر والشبكات الكهربائية البسيطة، ناقشنا علاقات التيار والجهد والإمكانات المختلفة لترتيب المقاومات في دائرة كهربائية. وبالمثل يمكن استخدام المواسعات كعناصر دائرة كهربائية. ويشير الشرح التالي إلى ترتيب المواسعات في دوائر التيار المستمر.



شكل ١٥٤

المواسعات الموصلة على التوازي والشحنة عليها

١ - مواسع له مواسعة S_1 .

٢ - مواسع له مواسعة S_2 .

٣ - مواسع له مواسعة $S_3 = S_1 + S_2$.

(١) توصيل المواسعات على التوازي :

يبين الشكل (١٥٤) ثلاثة مواسعات، مواسعاتها S_1 ، S_2 ، S_3 ، سلط عليها نفس الجهد J . وللمواسعين الموصلين على التوازي نفس نوع الوسط الكهربائي العازل ونفس الأبعاد الهندسية. وتساوى أبعادهما الهندسية معاً الأبعاد الهندسية للموسع الثالث. ويمكن التحقق باستخدام القياس من أنه في هذه الحالة :

$$S_3 = S_1 + S_2 \quad , \quad K_3 = K_1 + K_2$$

علاوة على ذلك، فإنه يمكن استخدام المعادلة الآتية في هذه الحالة :

$$S_3 \times J = S_1 \times J + S_2 \times J$$

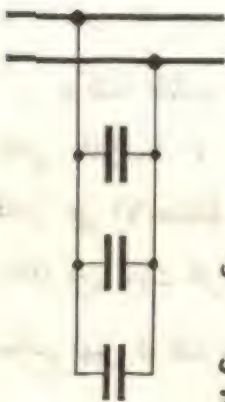
يبين الشكل (١٥٥)، ثلاثة مواسعات موصلة على التوازي، مواسعاتها

S_1 ، S_2 ، S_3 . يمكن الحصول على المواسعة الإجمالية لهذه الترتيبات من

$$S_{\text{إجمالية}} = S_1 + S_2 + S_3$$

شكل ١٥٥ : ثلاث مواسعات موصلة على التوازي

ويمكن أن يكون للمراسعة أي قيمة مطلوبة



من هذا ينتج أن :

عند توصيل أى عدد من المواسعات على التوازي . تكون المواسعة الإجمالية مساوية لحاصل جمع كل مواسعة على حدة :

وإذا وصلت مواسعات لها نفس المواسعة على التوازي في دائرة كهربائية، تكون المواسعة الإجمالية لها :

$$س_{إجمالية} = ن \times س$$

حيث ن عدد المواسعات الموصلة على التوازي .

شكل ١٥٦ : أربع مواسعات موصلة على التوازي

$$\begin{aligned} ١ - س &= ٨ \mu \text{ ف} . ٢ - س = ٢ \mu \text{ ف} . ٣ - س = ٣ \mu \text{ ف} . ٤ - س = ٤ \mu \text{ ف} . \\ \text{مثال :} \end{aligned}$$

ما المواسعة الإجمالية للترتيبة المبينة في الشكل (١٥٦) :

المعطيات : انظر الشكل (١٥٦) .

المطلوب : س إجمالية

الحل :

$$\begin{aligned} س_{إجمالية} &= س١ + س٢ + س٣ + س٤ \\ &= ٨ + ٢ + ٣ + ٤ \\ &= ٢٢ \mu \text{ ف} \end{aligned}$$

المواسعة الاجمالية للترتيبة هي ٢٢ μ ف .

(ب) توصيل المواسعات على التوالى :

يبين الشكل (١٥٧) ثلاثة مواسعات موصلة على التوازي ، مواسعاتها س١ ، س٢ ، س٣ .

فرق الجهد في هذه الدائرة الكهربائية ج = ج١ + ج٢ + ج٣ كما هو مبين بالشكل .

لتعيين المواسعة الإجمالية :

$$ج = \frac{ك}{س} . \text{ ومن هذه العلاقة نستنتج :}$$

$$ج = \frac{ك}{س} = \frac{ك}{س١} + \frac{ك}{س٢} + \frac{ك}{س٣}$$

فبالقسمة على ك نحصل على :

$$\frac{١}{س_{إجمالية}} = \frac{١}{س١} + \frac{١}{س٢} + \frac{١}{س٣}$$

شكل ١٥٧ : ثلاث مواسعات موصلة على التوالى

هذا يعنى أنه عند توصيل أى عدد من المواسعات على التوزى ، فإن مقلوب المواسعة الإجمالية يساوى حاصل جمع مقلوب كل مواسعة على حدة .
ويطبق الآتى على مواسعين موصلين على التوالى :

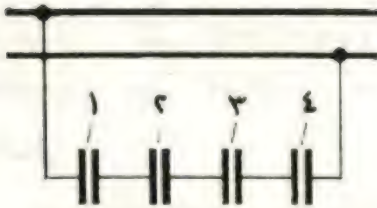
$$\frac{س_1 \times س_2}{س_1 + س_2} = س$$

مثال :

ما المواسعة الإجمالية لترتيبة الدائرة الكهربائية المبينة فى شكل (١٥٨) ؟

المعطيات : انظر الشكل (١٥٨)

المطلوب : س إجمالية



شكل ١٥٨ : أربعة مواسعات موصلة على التوالى

$$١ - س = ٢ \text{ } \mu\text{ف} . \quad ٣ - س = ٤ \text{ } \mu\text{ف} .$$

$$٢ - س = ٨ \text{ } \mu\text{ف} . \quad ٤ - س = ٤ \text{ } \mu\text{ف} .$$

الحل :

$$\frac{١}{س_١} + \frac{١}{س_٢} + \frac{١}{س_٣} + \frac{١}{س_٤} = \frac{١}{س \text{ إجمالية}}$$

$$\frac{١}{٤} + \frac{١}{٤} + \frac{١}{٨} + \frac{١}{٢} =$$

$$\frac{٢}{٨} + \frac{٢}{٨} + \frac{١}{٨} + \frac{٤}{٨} =$$

$$\frac{٩}{٨ \text{ } \mu\text{ف}} =$$

$$س \text{ إجمالية} = \frac{٨}{٩} \text{ } \mu\text{ف}$$

$$= ٠,٨٨ \text{ } \mu\text{ف}$$

المواسعة الإجمالية لهذه الترتيبة ٠,٨٨ $\mu\text{ف}$.

وإذا كانت الدائرة الكهربائية تشتمل على مواسعات لها نفس المواسعة موصلة على التوالي
نستخدم الصيغة :

$$\frac{S}{N} = S_{\text{إجمالية}}$$

حيث N عدد المواسعات الموصلة على التوالي .

مثال :

دائرة كهربائية تشتمل على ٦ مواسعات مواسعة كل منها ١٦ μ ف . موصلة على التوالي .
فما المواسعة الإجمالية لهذه الدائرة ؟

المطلوب : $S_{\text{إجمالية}}$

الحل :

$$\frac{S}{N} = S_{\text{إجمالية}}$$

$$\frac{16}{6} = S_{\text{إجمالية}}$$

$$S_{\text{إجمالية}} = 2,67 \mu \text{ ف}$$

المواسعة الإجمالية لهذه الترتيبة هي ٢,٦٧ μ ف

١١ هـ - الأنواع المختلفة للمواسعات :

للمواسعات تطبيقات كثيرة في الدوائر الكهربائية ، وتنقسم من حيث تصميمها إلى :

مواسعات مغلقة .

مواسعات أنبوبية .

مواسعات ألواح .

مواسعات ألواح دوارة أو مواسعات متغيرة .

مواسعات تشذيب .

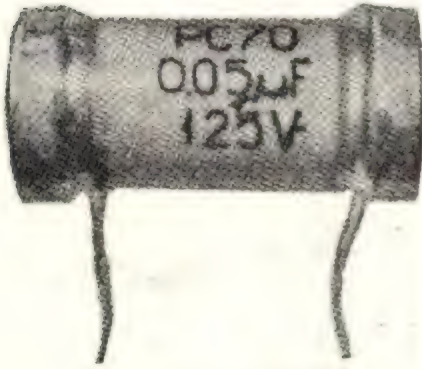
* وعلى العموم فإن تصميم المواسع لا يعطى أى بيانات عن مواسعته ، ومتانة وسطه الكهربائي العازل ، ومقاومته لظروف الحرارة القاسية ، ونوع وسطه الكهربائي العازل وأبعاده الهندسية .

وتبعاً لنوع الوسط الكهربائي العازل ، فإنه يمكن تصنيف المواسعات إلى :

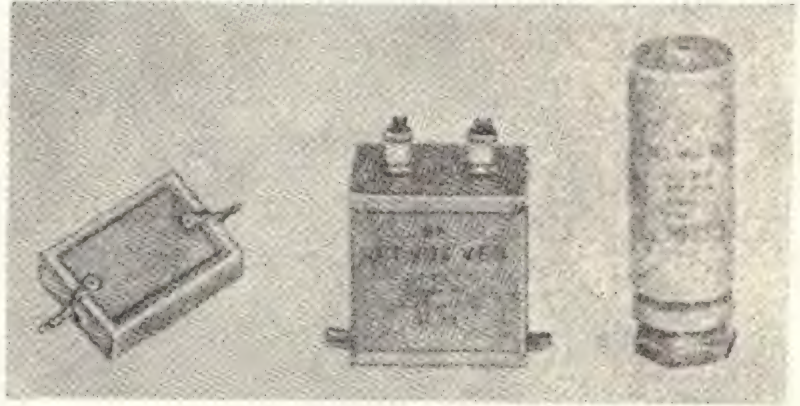
- مواسعات هوائية .
- مواسعات ميكانيكية .
- مواسعات خزفية .
- مواسعات إلكترونية .

والتطبيق المعطى يحكم ويختار التصميم ، والوسط الكهربائي العازل للمواسع ، على أساس التطبيق المطلوب . ومثال لذلك ، فإن المواسعات ذات المواسعة الصغيرة تعمل عادة كمواسعات خزفية ، لأن إنتاجها بهذا الشكل ، يكون أقل تكلفة من إنتاج المواسعات الورقية . وتبين الأشكال من (١٥٩) إلى (١٦٣) ، بعض تصميمات المواسعات .

وهناك تصنيف آخر للمواسعات بني على طريقة تشغيلها ، ويميز بين المواسعات ذات المواسعة المتغيرة والمواسعات ذات المواسعة غير المتغيرة ، وبالاختصار بين المواسعات المتغيرة وغير المتغيرة .



الشكل ١٥٩



الشكل ١٦٠

الشكل ١٦١

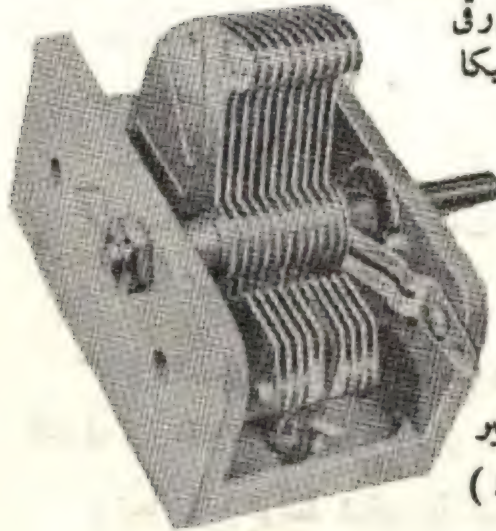
الشكل ١٦٢

الشكل (١٥٩)
مواسع خزفية
(VEB Keramische Werke Hermedorf GDR)

الشكل (١٦٠)
مواسع إلكترونية

الشكل (١٦١)
مواسع ورقية

الشكل (١٦٢)
مواسع ميكانيكية



شكل ١٦٣ : مواسع متغيرة
(حوالي ٥٠٠ بيكو فراد)

(١) المواسعات ذات الموسعة غير المتغيرة :

تصنع المواسعات غير المتغيرة لقيم معينة للموسعة . واعتماداً على جودة المنتج ، ينص عادة على اختلاف قيمها عن هذه القيمة أو المقننات ، كنسبة مئوية ، وذلك بواسطة المنتج . علاوة على ذلك يزود المواسع ببطاقة مقننات ، تعطى معلومات عن الموسعة ، ولجهد المقنن (وأحياناً جهد الاختبار أيضاً) وعلامة المنتج وتاريخ الإنتاج .
والجدول التالي يعطى حصراً للمواسعات ذات الموسعة غير المتغيرة الأكثر شيوعاً في الاستخدام :

النوع	الشكل	الوسط الكهربائي	البطانة	التطبيق
مواسع ورق	شكل مجمع ، أنبوبي ، أسطواني	ورق مشبع بالبارافين ، ورق زيت .	رفيقة ألومنيوم ، مسادن مرسب عينا بخار ألومنيوم .	هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية ، مواسعات القدرة غير الفعالة في هندسة التيار القوى
مواسع برقيقة من البلاستيك	أسطواني ، طراز درفين	استير وفلكس	ألومنيوم	معدات القياس اللاسلكية
مواسعات ميكاترونك	مكعبات	ميكاترونك	فئة ، مسادن مرسب عليها بخار ألومنيوم	أجهزة المعايرة والقياس التي تعمل بتيار متردد عالي التردد
مواسع إلكترونية	أسطواني	أكسيد ألومنيوم ، هيدروكسيد ألومنيوم	ألومنيوم	مرشحات الموجة ، تسوية التيار المقوم ، المواسعات العالية ذات المساحة الصغيرة لاستعمال التيار المستمر فقط

هندسة الاتصالات اللاسلكية ، المواسعات ، ذات الاستقرار العالى ، استقرار الجهود العالية .	أنبوبى ، على هيئة فنجان كالكيت ، عادة فضة تمبا ، إيسلان	مواسع خزفي
--	--	------------

(ب) المواسعات ذات المواسعة المتغيرة :

يمكن تغيير المواسعة المتغيرة في نطاق مدى معين بواسطة نبائط ميكانيكية . وعادة ، تصمم هذه المواسعات على شكل مواسعات ألواح دوارة (الشكل ١٦٣) ، وتصنع من عدد من ألواح معدنية متوازية ثابتة موصلة ببعض وتكون لوحاً واحداً من المراسع ، بينما تكون اللوح الآخر مجمعة أخرى من الألواح المتحركة الموصلة أيضاً ببعض. وبتدوير عمود محور يمكن أن تتداخل المجرعة الثانية في الأولى تداخلاً كبيراً أو صغيراً . وتكون المساحة الفعالة للمواسع هي مسافة ذلك الجزء من الألواح المتداخل مع بعضه البعض فقط . ويشتمل الجدول التالى على قائمة للمواسعات المتغيرة الأكثر شيوعاً في الاستخدام :

النوع	الوسط الكهربائي العازل	التطبيق
مواسع هوائى متغير	هواء	دوائر موالفة التذبذبات
مواسع ورقى متغير	ورق ، رقيقة البلاستيك	دوائر موالفة التذبذبات ، التغذية المرتجعة المعاد توليدها ، الوحدات الصغيرة المتضامة المعرضة لفقد الكبير .
مواسع تشذيب	عادة ، كوندنسان تمبا ، إيسلان	دوائر موالفة التذبذبات ، هندسة القياس بالترددات العالية.

الفصل الثانى عشر

التيار المتردد

كان الشرح والنصوص المتعلقة بالتقنيات الكهربائية العامة ، التى بينت فى الأقسام السابقة مقصورة على دوائر التيار المستمر . ومصادر الجهد التى استخدمت فى الأبحاث السابقة ، كانت قبل كل شئ عبارة عن أعمدة جلفانية ، مثل المراكم أو أنظمة التغذية التى توزع جهدا مستمرا من مولدات . وعلى كل ، فالتيار المستمر له أهمية صغرى بالنسبة لمصادر الكهرباء العامة ، لأن كلا من نقل وتوزيع التيار المستمر ، يظهر مضارا لا توجد فى مصادر التيار المتردد . أما اليوم ، فإن أغلبية محطات القوى تولد جهدا مترددا ، كما أن التيار المتردد ينقل إلى كل مكان . والمستهلكون الذين يستخدمون تيارا مستمرا يحصلون عليه بتحويل التيار المتردد بواسطة معدات مناسبة .

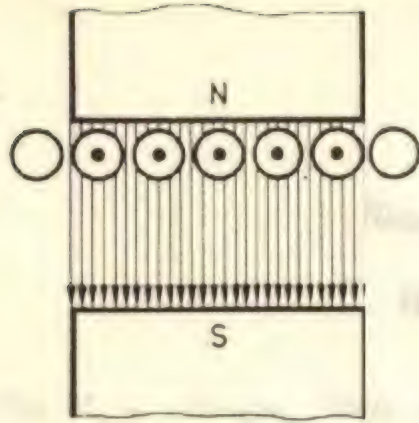
١١٢ - التيار المتردد الجيبى :

(١) تعريف فكرة التيار المتردد :

للبدء فى مناقشة التيار المتردد نشير إلى الشكل (١٢٦) ، عندما يمر موصل خلال مجال مغنطيسى ، ينتج بالحث جهد يخضع اتجاه تياره لقاعدة اليد اليمنى ، وإذا كان الموصل خارج نطاق المجال المغنطيسى ، ينخفض الجهد إلى الصفر ، أى لا ينتج الجهد بالحث بعد ذلك ، وعليه لا يسرى تيار . وعندما يمر الموصل مرة ثانية عبر المجال المغنطيسى ، يسرى التيار فى اتجاه عكسى ، ويبين ذلك بالشكل (١٦٤) .

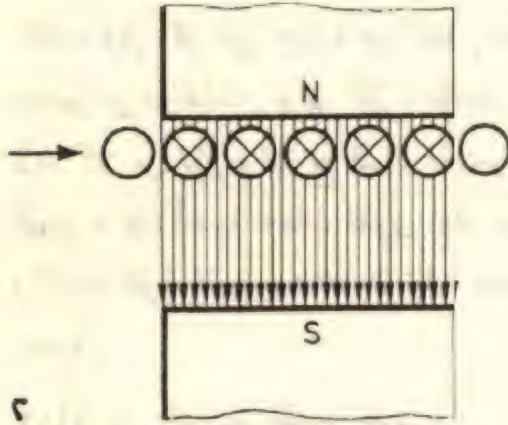
وإذا تحرك الموصل عبر المجال المغنطيسى ، موازيا لخطوط الفيض ، لا يحدث حث (الشكل ١٦٥) . ويعطى الشكل (١٦٦) إيضاحا للظاهرة التى تسبب سريان تيار عندما يتحرك موصل ذهابا وإيابا ، طبقا لما هو مبين بالشكل (١٦٤) . وعندما يؤخذ بالموصل عبر المجال المغنطيسى ، تزداد شدة التيار بسرعة إلى قيمة تظل ثابتة . حتى يترك الموصل المجال المغنطيسى .

ويبين هذا بالجزء العلوى من المنحنى (١) من الشكل (١٦٦) . وعندما يؤخذ بالموصل مرة ثانية عبر المجال ، يزداد التيار مرة ثانية بسرعة ، إلى قيمة تظل كما هى ، حتى يترك الموصل المجال المغنطيسى . وعلى كل فإنه يجب ملاحظة أن اتجاه التيار يكون عكس اتجاه التيار المتبع بالحث فى الحركة الأولى للموصل . كما هو مبين بالجزء السفلى من المنحنى (٢) بالشكل (١٦٦) .

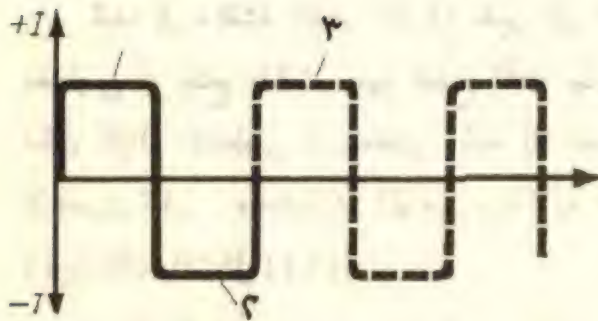
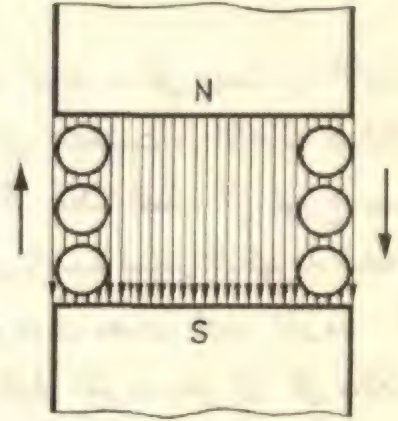


شكل ١٦٤ : اتجاه التيار المنتج بالحث باتجاه عكسي للحركة

- ١ - اتجاه التيار عند التحرك من اليمين إلى اليسار .
- ٢ - اتجاه التيار عند التحرك من اليسار إلى اليمين .



شكل ١٦٥ : عندما يتحرك الموصل في هذا الاتجاه لا ينتج جهد بالحث



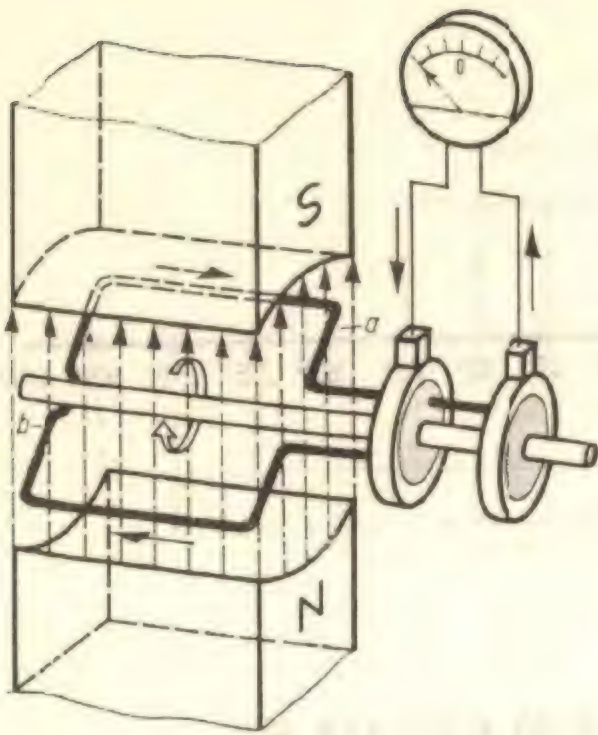
شكل ١٦٦ : اتجاه التيار المنتج بالحث عندما يتحرك الموصل دوريا ذهابا وإيابا عبر مجال مغنطيسي

- ١ - اتجاه التيار عندما يتحرك في اتجاه واحد .
- ٢ - اتجاه التيار عندما يتحرك في الاتجاه الآخر .
- ٣ - سريان التيار عندما يتحرك الموصل دوريا .

وإذا تحرك الموصل ذهابا وإيابا دوريا ، نحصل على منحنى تيار ، كما هو مبين بالخطوط المتقطعة (٣) في الشكل (١٦٦) . وسريان التيار المنتج بالحث المبين هنا ، هو سريان التيار المتردد . وهو يتغير باستمرار في الاتجاه والشدة .

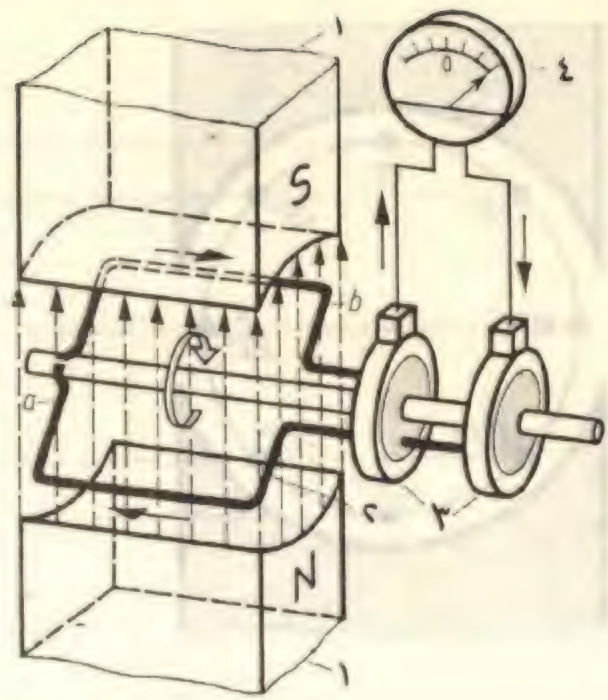
(ب) الحلقة الموصلة الدوارة في المجال المغنطيسي :

يكون إنتاج جهد متردد بالحث ، بالطريقة المبينة أعلاه ، غير عملي من الناحية الصناعية ، بينما يكون توليد الجهد المتردد ، على أساس الحركة الدورانية ، له فوائده . ويبين الشكل (١٦٧) مثالا لنموذج لمولد تيار متردد يوضح كيفية إنتاج تيار متردد على النطاق التجارى .



شكل ١٦٨ :

وضع الحلقة بعد نصف دورة



شكل ١٦٧ : نموذج لمولد تيار متردد

- ١ - أقطاب مغناطيسية .
- ٢ - حلقة مستطيلة بمقاطع
- ٣ - حلقة انزلاق .
- ٤ - جهاز قياس .

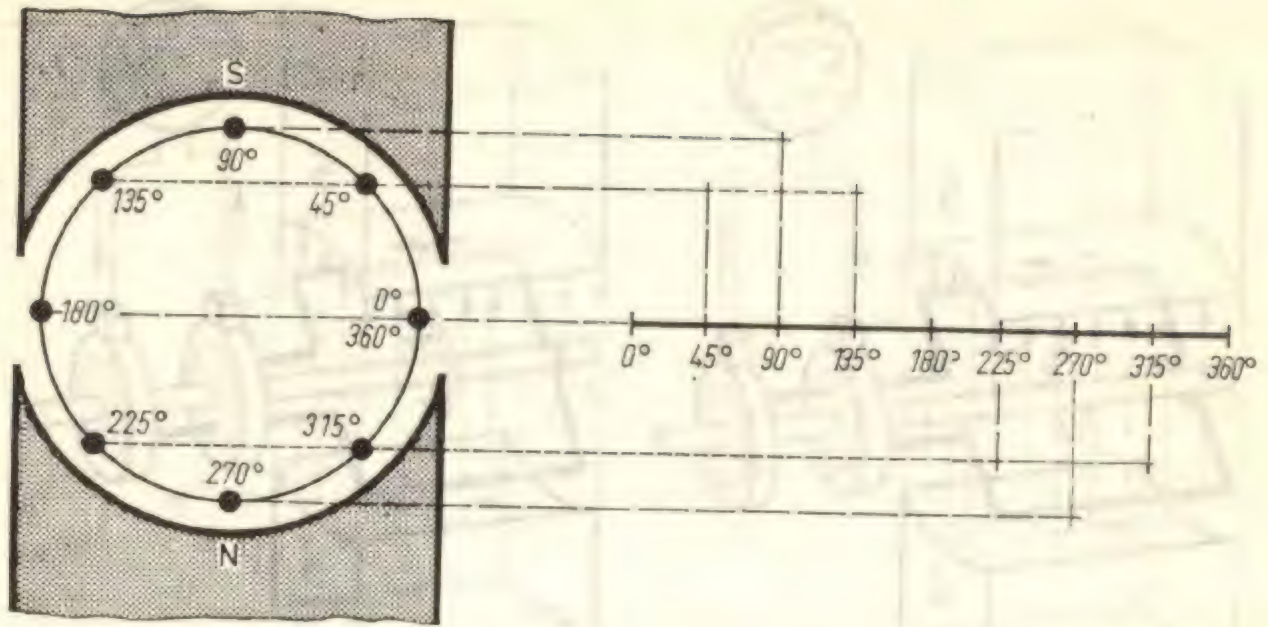
تصمم الأقطاب المغناطيسية ، بحيث تتحرك الأجزاء المتوازية (a ، b) من الحلقة على نفس البعد من السطح الكلي لهما . وعندما نلقى نظرة أقرب ، على مقطع الموصل (b) ، نجد أنه يتحرك تجاه الرائى ، بينما يتحرك مقطع الموصل (a) بعيدا عن الرائى . ويكون اتجاه سريان التيار فى الحلقة مبينا بالأسهم . ويبين فى الشكل رقم (١٦٨) نفس مولد التيار المتردد بعد تحرك الحلقة نصف دورة .

وعندما نلقى نظرة أقرب على مقطعى الموصل (a ، b) ، نجد أن اتجاه الحركة واتجاه التيار فى أحدهما يكونان عكس الآخر . وعندما تدور الحلقة فى نطاق المجال المغناطيسى ، بسرعة منتظمة ، يغير التيار الكهربائى اتجاهه مع كل دورة بمعدل منتظم . ويبين منحنى التيار الذى نحصل عليه بهذه الكيفية بالشكل (١٦٩) .

بتخيل الممر الدائرى ، المرسوم بواسطة مقطع الموصل أثناء دورانه ، نجد أنه يمر خلال الأوضاع : صفر° ، ٤٥° ، ٩٠° ، ١٣٥° ، ١٨٠° ، ٢٢٥° ، ٢٧٠° ، ٣١٥° و ٣٦٠° (وهذا الوضع الأخير يتطابق مع الوضع صفر°) ، المبينة على الدائرة فى الشكل (١٦٩) .

ويمكن حساب المسافة التى يقطعها مقطع الموصل فى دورة واحدة من :

$$ل = ط \times ق$$



شكل ١٦٩ : توليد تيار له منحنى جيبي : أوضاع مقطع الموصل مسقط على خط مستقيم له أبعاد الممر الدائري

حيث $ل =$ طول المحيط .

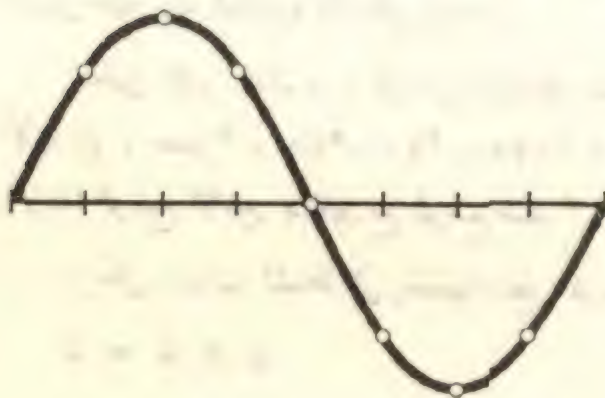
$ق =$ قطر الدائرة .

$ط =$ النسبة التقريبية للدائرة .

توقع هذه المسافة على المنحنى قرب الدائرة وعلى مستوى مركزها، ويستدل على نقطة البداية بالرقم صفر ، وعلى نقطة النهاية بالرقم ٣٦٠ . ويمكن التعبير عن أى قسم بين هذه النقط بالآتي :

$$\frac{1}{8} ق \times ط$$

وهذا يساوى الفرق الزاوى لوضع ٤٥° . وعند إسقاط أوضاع الموصل (بدءا بالوضع ٤٥°) نحصل على نقط أعلى وأسفل الخط المستقيم . وتوصل هذه النقط بمنحنى يمر بها (الشكل ١٧٠) . ويمكن استنتاج ما يلي ، من هذا المنحنى للتيار :



شكل ١٧٠ : توليد تيار له منحنى جيبي مرسوم عبر النقط المسقطة

١ - يزداد التيار من قيمة الصفر (عند وضع صفر °) إلى قيمة قصوى (عند وضع ٩٠ °) .
٢ - ينخفض التيار من القيمة القصوى (عند وضع ٩٠ °) إلى قيمة الصفر (عند وضع ١٨٠ °) .

٣ - يزداد التيار من قيمة الصفر (عند وضع ١٨٠ °) إلى قيمة قصوى (عند وضع ٢٧٠ °) متخذاً اتجاهها عكسياً .

٤ - ينخفض التيار من القيمة القصوى (عند وضع ٢٧٠ °) إلى قيمة الصفر (عند وضع ٣٦٠ °) .

ويسمى التيار المسار بين الوضعين صفر ° ، ١٨٠ « بالتيار الموجب » . ويسمى التيار المار بين ١٨٠ ° ، ٣٦٠ « بالتيار السالب » . وعلى ذلك يكون لمنحنى التيار الجيبى : قيمة قصوى موجبة ، وقيمة قصوى سالبة . وعند مقارنة النكل (١٦٤) والشكل (١٦٥) بالمنحنى المبين فى الشكل (١٧٠) يمكن ملاحظة الآتى : يتحرك مقطع الموصل عمودياً على خطوط المجال خلال فترة قصيرة ، وبالتحديد بين ٩٠ ° ، ٢٧٠ ° . وفى هذين الوضعين ، وخلال هاتين الفترتين ، ينتج بالحث أعلى جهد ، وبالتالي أعلى شدة للتيار . ويكون اتجاه حركة مقطع الموصل موازياً لخطوط المجال فقط خلال فترة قصيرة ، وبالتحديد عند صفر ° / ٣٦٠ ° ، ١٨٠ ° ، وفى هذه الفترات لا ينتج جهد بالحث .

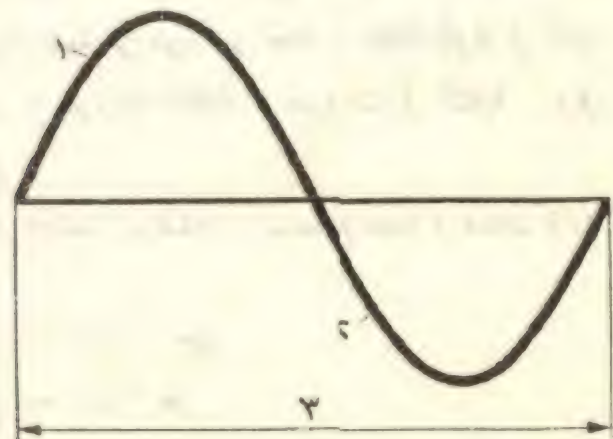
٢/١٢ - كميات لتعيين التيار المتردد :

(١) الموجة والدورة :

لمنحنى التيار المتردد المبين فى الشكل (١٧٠) بضع خصوصيات . ويسمى المنحنى الذى ينتج خلال دورة واحدة لمولدات التيار المتردد « موجة واحدة أو تذبذب واحد » وتتكون الموجة من نصفي موجة أحدهما موجب (+) والنصف الآخر سالب (-) .

وينتج خلال الدورة الثانية للحلقة فى المولد منحنى تيار آخر ، يشابه الأول . تكرر هذه الدورة دورياً أثناء تحرك حلقة الموصل . لذلك تسمى أيضاً الموجة الواحدة أو التذبذب الواحد « دورة » أو « موجة كاملة » .

يبين الشكل (١٧١) أجزاء المنحنى ومدلولاتها :



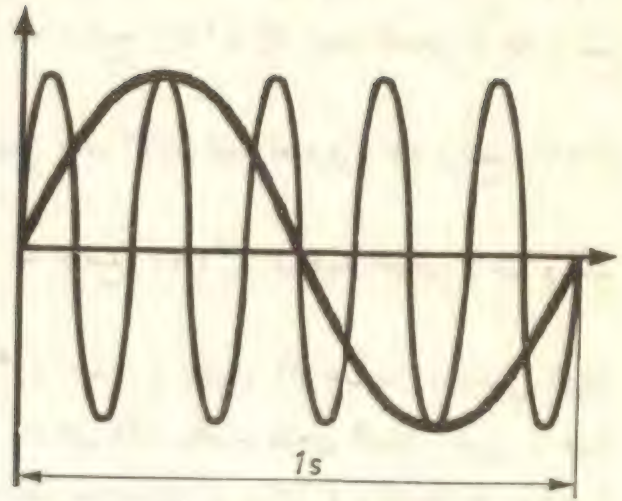
شكل ١٧١ :

مدلولات أجزاء منحنى جيبى

١ - نصف موجة موجب .

٢ - نصف موجة سالب .

٣ - موجة أو تذبذب أو دورة .



شكل ١٧٢ :
تمثيل الترددات ١ هيرتز ، د هيرتز

(ب) التردد والدورة :

لحساب عدد مرات إنتاج موجة في وحدة زمن مثل دقيقة واحدة ، يجب الأخذ في الاعتبار المعدل الذي تدور به الحلقة المستطيلة من السلك ، ويتوقف الاستخدام الاقتصادي للتيار المتردد التجاري على عدد معين من الموجات في وحدة زمن . ويستخدم التعبير « تردد » لوصف عدد الدورات لكل ثانية ، لتيار متردد أو جهد متردد . ويعرف التردد على أنه عدد الدورات في الثانية (إختصاراً د في ث أو د/ث) . ووحدة أخرى للتردد هي الهيرتز التي تساوى دورة واحدة في ثانية واحدة .

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
التردد	د	هيرتز	هرز

وسميت وحدة الدورة في الثانية بالهيرتز نسبة إلى عالم الطبيعيات الألماني هاينريخ هيرتز Heinrich Hertz ، (من ١٨٥٧ إلى ١٨٩٤) . والهيرتز هو دورة واحدة في الثانية ، أى أن :

$$١ \text{ هيرتز} = \frac{١}{\text{ث}} \text{ أو } ١ \text{ هرز} = ١ \text{ ث}^{-١}$$

وبين الشكل (١٧٢) الفرق بين تيارين يسريان خلال وحدة زمن مقدارها ثانية واحدة . وفي الشكل المذكور ، يبين المنحنى السميكة موجة منتجة عن دورة واحدة ، حلقة المولد في ثانية واحدة ، بينما يبين المنحنى المرسوم بخط مستمر ، دوران الحلقة ه دورات في الثانية . وفي هذه الحالة ، يكون مقدار هذا التردد ه هيرتز .

وفي الهندسة الكهربائية ، تستخدم ترددات مختلفة . ولذلك ، تستخدم عادة ترددات ذات قيمة مضاعفة لقيمة الوحدة الأساسية ، مثل :

$$١ \text{ كيلو هيرتز} = ١٠٠٠ \text{ هيرتز} = ٣١٠ \text{ هرز}$$

$$١ \text{ ميجا هيرتز} = ١٠٠٠٠٠٠ \text{ هيرتز} = ٦٠ \text{ هرز}$$

وتبين القائمة التالية بعض أمثلة للترددات المستخدمة :

٥٠ هز	تيار متردد تجارى
$16 \frac{2}{3}$ هز	تيار متردد لعمليات السكك الحديدية
٢٥ هز	النداء بدق الجرس فى هندسة الاتصالات
١٠٥٠ هز	مرسل موجة متوسطة مثلاً
٩,٥ ميغا هز	مرسل موجة قصيرة مثلاً
٨٩,٦ ميغا هز	مرسل موجة تردد عالى جداً (مثلاً)
٦٥ ميغا هز	مرسل تليفزيون مثلاً ، صوت
٥٩ ميغا هز	، صورة

وإذا وجب تحديد زمن الدورة ز لدورة ما ، فإنه يحسب من مقلوب التردد ، وعليه فإن :

$$\frac{1}{\text{التردد}} = \text{الدورة}$$

$$Z = \frac{1}{D}$$

مثال :

ما دورة التردد المستخدم فى عمليات السكك الحديدية ؟

$$\text{المعطيات : } D = 16 \frac{2}{3} \text{ هز}$$

المطلوب : ز

الحل :

$$Z = \frac{1}{D} = \frac{1}{16 \frac{2}{3}} = \frac{1}{16,66}$$

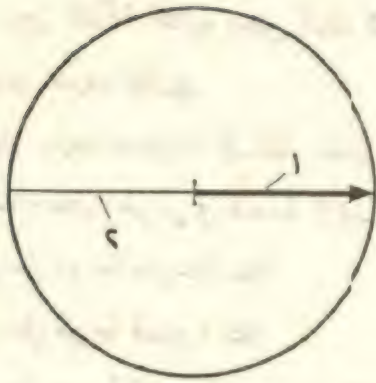
$$Z = 0,6 \text{ ث.}$$

(ج) التردد الزاوى :

فى بعض الحالات ، يربط النص على الترددات بالسرعة الزاوية . وهذا يعرف بأنه الزاوية التى يتحرك خلالها مؤشر فى وحدة زمن ما (الشكل ١٧٣) . وإذا كان نصف قطر الدائرة المرسومة بواسطة المؤشر (أو حلقة من سلك موصل) يساوى واحداً ، يكون محيط هذه الدائرة هو ٢ ط .

والتردد الزاوى ω (أو ميغا) للتيار المتردد يساوى ٢ ط مضروباً فى التردد د . وعليه فإن :

$$\omega = 2 \pi D$$



شكل ١٧٣ : التردد الزاوى

١ - مؤشر .

٢ - نصف قطر الدائرة .

مثال :

ما التردد الزاوى لتيار متردد له $16 \frac{2}{3}$ هز ؟

المعطيات : $d = 16 \frac{2}{3}$ هز

المطلوب : التردد الزاوى ω

الحل :

$$\omega = 2\pi d = 2 \times 3.14 \times \frac{50}{3}$$

$$= 104.7 \text{ ث}^{-1}$$

التردد الزاوى لهذا التيار 104.7 ث^{-1}

(د) طول الموجة :

تشمل البيانات المتعلقة بالمعدات المستخدمة في هندسة الاستقبال والنقل عادة على معلومات حول طول الدورة (الموجة) ، معبرا عنها بالمتر أو بوحدة مشتقة منها . ويعرف طول الموجة λ (لامدا) بأنه طول موجة معبرا عنه بوحدة الطول . وللمساعدة في تفهم العلاقة بين طول الموجة والتردد، نرجع إلى سرعة الامتداد - الانتشار (الفصل الثالث) . وكما قيل من مثل في هذا المجال، تنتشر الكهرباء بسرعة 300000 كيلومتر/ث . ويمكن كتابة ذلك أيضا كما يلي :

$$300000 \text{ كيلومتر/ث} = 3 \times 10^8 \text{ كيلومتر/ث} = 3 \times 10^8 \text{ متر/ث}$$

وعندما نربط سرعة الامتداد بالتردد ، نحصل على طول الموجة وهو :

$$\text{طول الموجة} = \frac{3 \times 10^8 \text{ متر/ث}}{\text{التردد}}$$

$$= \frac{3 \times 10^8 \text{ متر/ث}}{d}$$

مثال :

المعطيات : ما طول الموجة لتيار متردد تجارى ؟

$$d = 50 \text{ هز}$$

$$e = 3 \times 10^8 \text{ متر/ث}$$

المطلوب : λ

الحل :

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \times 10^8}{6000000} = 0.5 \text{ متر}$$

$$= 6000 \text{ كيلومتر}$$

طول الموجة لتيار متردد تجارى 6000 كيلومتر .

إذا عبر عن الترددات بالكيلو هيرتز (كيلو هز) أو بالميجا هيرتز (ميجا هز) ، فينصح أولاً بتحويل سرعة الامتداد إلى وحدة مناسبة .

إذا عبر عن التردد بالكيلو هيرتز ، وجب التعبير عن السرعة 3×10^8 كيلومتر/ث

إذا عبر عن التردد بالميجا هيرتز ، وجب التعبير عن السرعة 3×10^8 ميجا متر/ث

مثال :

ما طول الموجة المرسل يعمل بتردد 1050 كيلو هيرتز ؟

المعطيات : $\nu = 1050$ كيلو هيرتز

$$c = 3 \times 10^8 \text{ كيلو متر/ث}$$

المطلوب :

الحل :

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{1050} = 285,7 \text{ متر}$$

طول الموجة لهذا المرسل هو 285,7 متر .

مثال :

ما طول الموجة المرسل يعمل بتردد 60 ميجا هرتز ؟

المعطيات : $\nu = 60$ ميجا هيرتز

$$c = 3 \times 10^8 \text{ ميجا متر/ث}$$

المطلوب : λ

الحل :

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

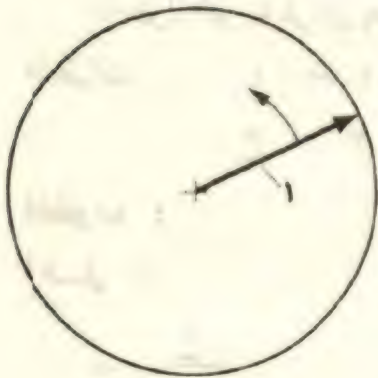
$$\frac{210 \times 3}{60} =$$

$$= 5 \text{ متر}$$

طول الموجة لهذا المرسل هو ٥ متر

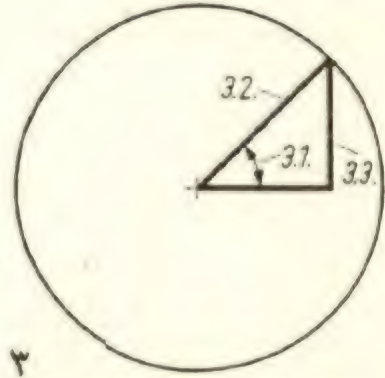
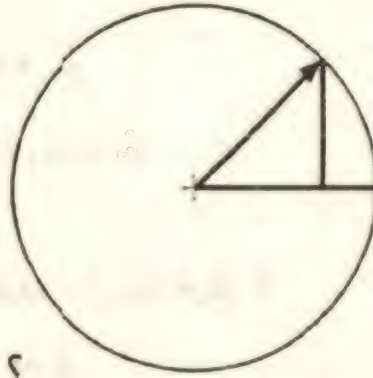
(٥) قيم الذروة ، والقيم اللحظية ، للجهد المتردد والتيار المتردد :

عندما أوضحنا المنحنى الجيبى للتيار المتردد (الشكل ١٧٠) ، لاحظنا قيمتين قصويتين (عند وضع ٥٩٠ ، ٥٢٧٠) وقيمتي صفر (عند وضع صفر / ٥٣٦٠ ، ٥١٨٠) . وعلى كل حال ، فإن أداء مصباح متوهج موصل بنظام تغذية للتيار المتردد التجارى العادى لا يظهر أى زيادة أو إنخفاض فى شدة التيار أو الجهد . وبالمثل ، لا يدور محرك كهربائى موصل بمصدر تيار متردد ، بسرعة منخفضة أو عالية ، تبعا لدورية حث التيار . ويمكن فهم هذه الحقيقة ، على غرابتها ، بوصف خصوصيات الجهود والتيارات المترددة المميزة عن الجهود والتيارات المستمرة .



شكل ١٧٤ : تمثيل المتجه

١ - طول المتجه ل يساوى ج د .



شكل ١٧٥ : دالة جيب فى دائرة التيار المتردد

١/٣ زاوية α : ٤٥°
٢ ٣ الوتر .
٣/٣ المنايل

١ - وضع المتجه عند ٤٥°
٢ - إسقاط عمود
٣ - وصف المثلث

تمثيل المتجه :

يبين الشكل (١٧٤) دائرة كهربائية مناظرة ، يمكن أن يدور فيها متجه في عكس عقارب الساعة . لنفرض أن طول المتجه يساوى جهداً أقصى . تسمى هذه القيمة بقيمة الذروة ج ز ، تبلغ قيمة الجهد قيمة الذروة مرتين ، خلال دورة واحدة للمتجه (عند وضع 90° ، 270°) .
يبين الشكل (١٧٥) وضع المتجه عند 45° . عند هذا الوضع لمقطع الموصل على المعر الدائري ، ينتج بالحث جزء معين من قيمة الذروة للجهد . ويمكن تحديد قيمة هذا الجزء من الشكل (١٧٥-٢) وعند رسم عمود من نقطة رأس السهم على المستوى ، نحصل على مثلث قائم الزاوية (الشكل (١٧٥-٣) ودالة الجيب .

$$\text{جيب } \infty = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}} \text{ للمثلث .}$$

(و) تعيين القيمة اللحظية :

يسقط عمود في كل من المدى الموجب والمدى السالب ، بحيث نحصل على مثلث قائم الزاوية . وعلى كل ، فإنه لا يمكن تطبيق ذلك على أوضاع المتجه عند صفر 0° ، 90° ، 180° ، 270° ، 360° .

وفي هذه الحالات لا يمكن تكوين مثلث للاستطراد في هذا الشرح . نفرض أن قيمة الذروة للجهد ج ز هي 311 فلت .

يمكن حساب الجهد عند وضع 45° من دالة الجيب . جيب $\infty \times$ الوتر . وعليه يمكن كتابة القيمة اللحظية ج = جيب $\infty \times$ ج ز .

وتعطي قيمة جيب 45° في الجداول ، وهي $0,707$ ، بحيث نجد :

ج = $0,707 \times 311$ فلت ، ج = 220 فلت وتكون القيمة اللحظية ج لجهد متردد بقيمة ذروة ج ز = 311 فلت ، وهي 220 فلت عندما يكون وضع حلقة الموصل عند 45° .

مثال :

إذا كانت قيمة الذروة لجهد متردد 538 فلت فما القيمة اللحظية عندما يكون المتجه عند 30° ؟

المعطيات : ج ز = 538 فلت .

جيب $30^\circ = 0,5$

المطلوب : ج

الحل :

$$ج = جيب ٣٠^\circ \times ج ز$$

$$٥٣٨ \times ٠,٥ =$$

$$= ٢٦٩ \text{ فلط}$$

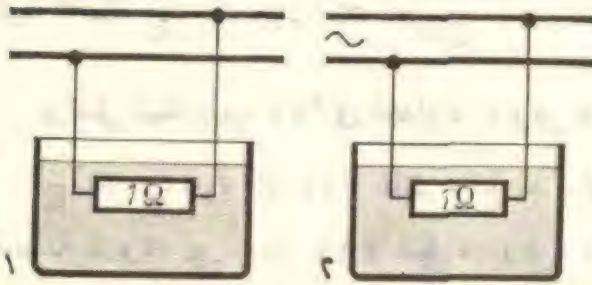
القيمة اللحظية لهذا الجهد ٢٦٩ فلط .

(ز) القيمة الفعالة للجهد المتردد والتيار المتردد :

يبين الشكل (١٧٦) ترتيبتين لدائرتين تساعدان في تعيين الشغل ش الذي يبذله تيار كهربائي .
في الحالة الأولى ، يوصل مقاوم قيمته $\Omega ١$ ، في دائرة تيار مستمر . ولنفرض أن قيمة الذروة
لهذا التيار المستمر = ٣ م .

وفي الحالة الثانية ، يستخدم مصدر للجهد المتردد . يفترض أن تيارا بقيمة ذروة ت ز
= ٣ أمبير ، يبذل شغلا في مقاومة قيمتها $\Omega ١$. ويمكن إيجاد الشغل الذي تبذله التيارات
بواسطة أجهزة قياس الحرارة .

ويمكن بمساعدة ترتيبات دائرية مثل هذه ، وأجهزة قياس مناسبة ، إجراء اختبارات تبين
أن للشغل المبذول بواسطة التيار المستمر ، قيمة أعلى اعتباريا من الشغل المبذول بواسطة التيار
المتردد تحت نفس الشروط المعطاة . وسيناقش سبب وجود هذا الفرق والعلاقة بين هذين الشكلين
للشغل فيما بعد .



شكل ١٧٦ : هذا الشكل يساعد في تبين

الشغل الذي يبذله التيار ش

١ - الشغل المبذول بواسطة التيار المستمر .

٢ - الشغل المبذول بواسطة التيار المتردد .

وفي الجزء الأول ، الفصل الثامن وجد أن شغل تيار كهربائي (في دوائر التيار المستمر)

يساوي :

$$ش = ج \times ت \times ز$$

وحيث أن ج = ت \times م ، فإننا نحصل على

$$\text{ش} = \text{ت} \times \text{م} \times \text{ت} \times \text{ز} \quad \text{أو}$$

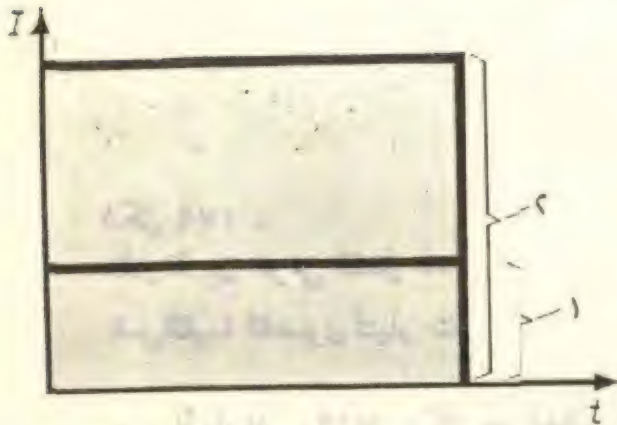
$$\text{ش} = \text{ت}^2 \times \text{م} \times \text{ز}$$

في هذا المثال ، اختيرت مقاومة م قيمتها ١ أوم ، وحيث أن العامل ١ ليس له تأثير على التطور المطرد فيمكن إهماله ، وعليه :

$$\text{ش} = \text{ت}^2 \times \text{ز}$$

ويمكن الحصول على التمثيل التخطيطي للشغل ش ، المبذول بواسطة التيار المستمر ، تحت نفس الشروط المعطاة بشكل مساحة توقع على محور الزمن (الشكل ١٧٧) . وبالمثل فإنه يمكن تمثيل الشغل المبذول ، بواسطة التيار المتردد ، تحت نفس الشروط المعطاة ، في شكل مساحة توقع على محور الزمن (الشكل ١٧٨) . في هذا المنحنى ، تكون مساحة نصف الموجة السالبة أيضا أعلى محور الزمن حيث أن :

$$- \text{ت} \times \text{ز} - \text{ت}^2 = + \text{ت}^2 \times \text{ز} .$$



شكل ١٧٧ :

تمثيل الشغل المبذول بواسطة التيار المستمر

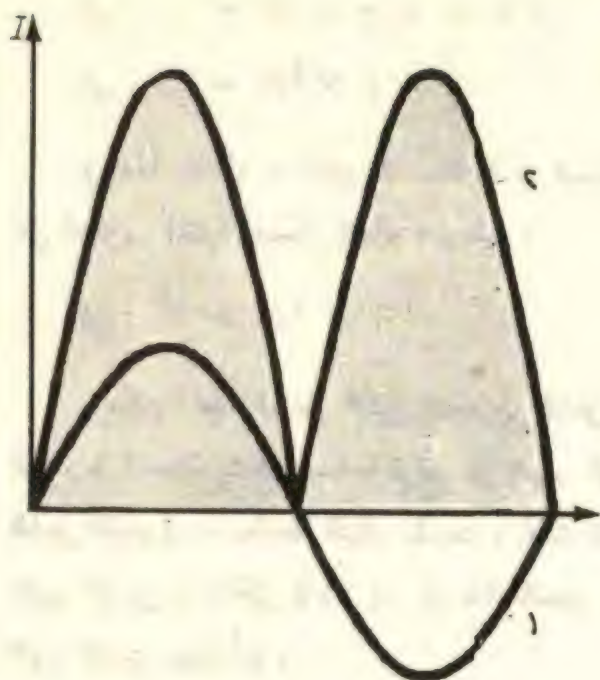
$$1 - \text{ت} = \text{ز} \quad 1$$

$$2 - \text{ت}^2 = \text{ز} \quad 2$$

وعند تكوين مساحة مستطيلة من المساحة المحاطة بخطوط كونتور في هذا المنحنى ، يكون من الواضح أن المساحة المستطيلة التي يحصل عليها بهذه الكيفية تكون أصغر ، بقيمة معينة ، من المساحة المستطيلة ، التي تمثل الشغل المبذول بواسطة التيار المستمر (الشكل ١٧٨) . وقد بينت هاتان المساحتان في منحنى واحد للمقاومة في الشكل (١٧٩) .

من هذه المقارنة يمكن استنباط الخلاصات الآتية :

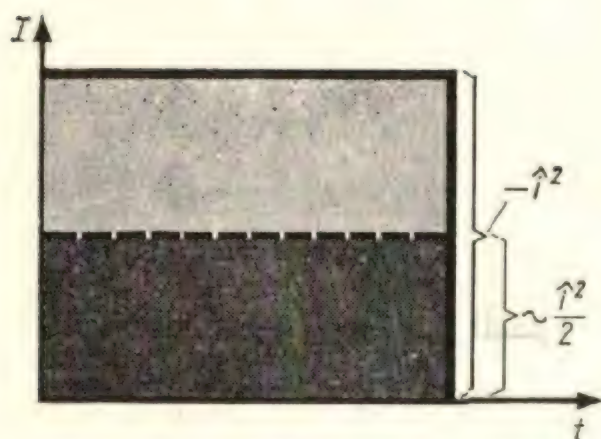
$$1 - \text{يكون الشغل المبذول بواسطة تيار متردد هو } \frac{\text{ت}^2}{2} \text{ ، عند نفس قيمة الذروة ت}^2$$



شكل ١٧٨ :
تمثيل الشغل المبذول بواسطة التيار المتردد

١ - منحنى i جيبي .

٢ - منحنى i^2 جيبي .



شكل ١٧٩ :
مقارنة بين نوعي الشغل عند
نفس القيمة القصوى للتيار i

٢ - لأداء نفس الشغل ، كما هو الحال بالنسبة للتيار المستمر بقيمة i ، يجب أن تكون

قيمة التيار المتردد هي $i \sqrt{2} \times 0,707 = i \times 1,414$.

٣ - يسمى التعبير $\frac{i^2}{2}$ بمربع القيمة المتوسطة أو القيمة الفعالة للتيار المتردد ، ومن

هذا يلي :

$$i^2 = \frac{i^2}{2} \times 2 , \quad \frac{i^2}{2} = i^2 \times 0,707 , \quad i^2 = \frac{i^2}{2} \times 2$$

٤ - بالمثل فبالنسبة للجهد المتردد نجد :

$$J_z = \frac{J_z^2}{2} = J_z \cdot \frac{J_z}{2} = J_z \cdot 0,707 \times J_z$$

٥ - من هذا ، تعين قيمة الجهد وشدة التيار في شكل العلانة :

$$J_z = J_z \cdot \sqrt{2} \times 1,414 = J_z$$

$$I_z = I_z \cdot \sqrt{2} \times 1,414 = I_z$$

تكون القيمة الفعالة لجهد وشدة تيار جيبيين متغيرين هي ٠,٧٠٧ مضروباً في قيمة الذروة للجهد أو شدة التيار .

بهذه التعاريف لقيمة الذروة ، والقيمة اللحظية ، والقيمة الفعالة للجهد وشدة التيار المتردد ، أهمية عملية في بناء مولدات التيار المتردد . وعلى سبيل المثال لا الحصر في الحياة العملية ، تنسب قيم الجهود المترددة والتيارات المترددة إلى القيم الفعالة للكبات المناظرة لها .

١٢/٣ - المقاومات الأومية ، والحثية ، والسعوية في دائرة اتيار المتردد :

(أ) المقاومات الأومية في دائرة التيار المتردد :

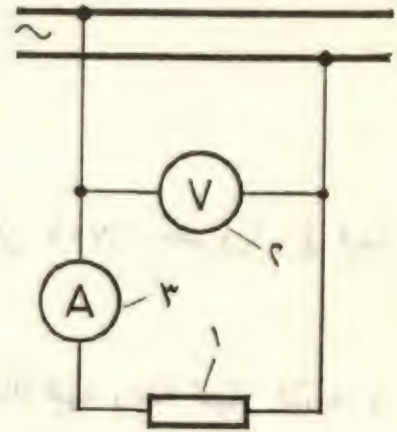
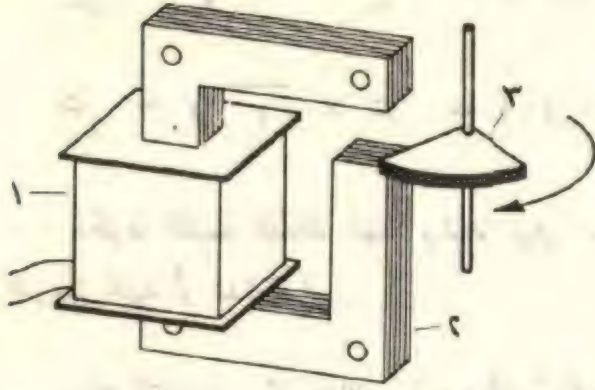
لقد وصفنا في القسم الأول - الفصل السادس ، في مجال الحديث عن المقاومات ، بضع مقاومات (مقاومات من السلك الملفوف ، مقاومات كربونية ، مقاومات متغيرة) ويتبع تصرف هذه المقاومات في دائرة التيار المستمر قانون أوم . لنبحث الآن ما إذا كان مثل هذا المقاوم ، سيتبع قانون أوم ، أيضاً ، أم لا ، عندما يوصل في دائرة تيار متردد . وكما سبق ذكره تبين أجهزة القياس الشائعة الاستخدام قوماً فعالة للجهد المتردد والتيار المتردد . وإذا وصل مقاوم من النوع المبين أعلاه ، في دائرة تيار متردد ، نجد أن تصرفه يطابق قانون أوم أيضاً (الشكل ١٨٠) .

تسمى المقاومات في دائرة التيار المتردد ، التي تتبع قانون أوم ، بالمقاومات الفعالة .

(ب) المقاومات الحثية في دائرة التيار المتردد :

تعرف المقاومات الحثية بالمقاومات التي تحكمها قوانين الحث الذاتي (القسم الأول - الفصل العاشر) . والتعبير العام لنبيطة أو عنصر دائرة كهربائية له محاثية هو « ملف محاث »

لأن المقاومات الحثية تسمى أيضا « المحاثات » . مثل ملفات المحاثة هذه تكون مغنطيسيات كهربائية ، أو ملفات بقلب حديد أو بدونه ، أو لفيفات في محركات ، أو مولدات كهربائية . وتشير المناقشة التالية إلى ملف كايح للتيار ، مزود بقلب حديد ، يمكن ضبطه . وهذا الملف يكون عبارة عن ملف محاث ، لأن له محاث . ويمكن تغير الحث المغنطيسي له بواسطة القلب الحديد . والملف الكايح عبارة عن عينة ممثلة لكل الأنواع الأخرى من ملفات المحاثات (الشكل ١٨١) .



شكل ١٨١ : ملف متغير كايح للتيار

شكل ١٨٠ : قياس الجهد وشدة التيار في

١ - ملف .

دائرة تيار متردد

٢ - قلب حديد .

١ - مقاومة أومية . ٢ - فلطمتر .

٣ - نبيلة ضبط (لتغير ثغرة الهواء) .

٣ - أميتر .

(ج) تصرف ملفات المحاثة في دائرة التيار المستمر :

يبين الشكل ١٨٢ ترتيبية لدائرة تشتمل على مصباح متوهج ، وملف كايح للتيار ، موصلين على التوالي . توصل هذه الدائرة بمصدر جهد مستمر . يفترض أن المقاومة الأومية لعنصرى الدائرة معروفة . عند تشغيل ترتيبية الدائرة هذه ، يفترض أن يكون الجهد وشدة التيار بحيث يضىء المصباح المتوهج . عندما تنخفض شدة التيار واجهد عبر عنصرى الدائرة نجد أن عناصر الدائرة تتصرف طبقا لقانون أوم . وفى هذه الحالة ، يتصرف أيضا الملف الكايح للتيار طبقا لقانون أوم . لنبحث الآن ما إذا كانت قيمة الحث تبذل تأثيرا خاصا على تصرف الملف الكايح للتيار في دائرة التيار المستمر . عندما يتغير الحث المغنطيسى للملف الكايح للتيار ، في دائرة كهربائية مقفلة ، أى عندما تنخفض أو تزداد ثغرة الهواء ، بواسطة قطعة الحديد المتحركة ، يستمر المصباح المتوهج في الإضاءة دون تغير .

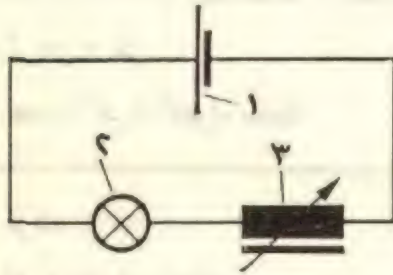
إذا احتوت دائرة تيار مستمر على ملف محاث ، فكون مقاومته الأومية فقط هي فعالة .

(د) تصرف ملفات المحاثة في دائرة التيار المتردد :

فيما يلي وصف لترتيبة اختبار ، يمكن بمساعدتها ملاحظة تصرف ملفات المحاثة في دائرة التيار المتردد .

وفي هذا المجال ، يجب ملاحظة أنه يمكن تشغيل جهاز كهربائي موصل في دائرة تيار مستمر ، بواسطة مفناح كهربائي يسمى مغير القطب ، كيفية ما بحيث يتغير اتجاه التيار المار في الجهاز دوريا .

يبين الشكل (١٨٣) ترتيب دائرة تحتوي على مفتاح كهربائي حراري ، ومتابع ، وملف كابح للتيار المتغير ومصباح متوهج . ويشبه أساس تصميم المفتاح الكهربائي الحراري التصميم الخاص بوحدة ومامضة لمبين الاتجاه بالضوء المستخدم في السيارات . ويشتمل المفتاح الكهربائي على مقاوم تسخين متغير ، مصمم لضبط التردد في نطاق المدى من ١ إلى ٢ هز . وعندما تغذى ترتيب الدائرة هذه ، يسخن مقاوم التسخين لمفتاح الكهربائي الحراري . وتبعا لذلك يقفل المفتاح ، ويشغل المتابع . في هذه اللحظة ، يعكس اتجاه التيار عبر المصباح المتوهج والملف الكابح للتيار المتغير ، وفي نفس الوقت تقطع التوصيلة إلى المفتاح الكهربائي الحراري ويشغل المتابع .

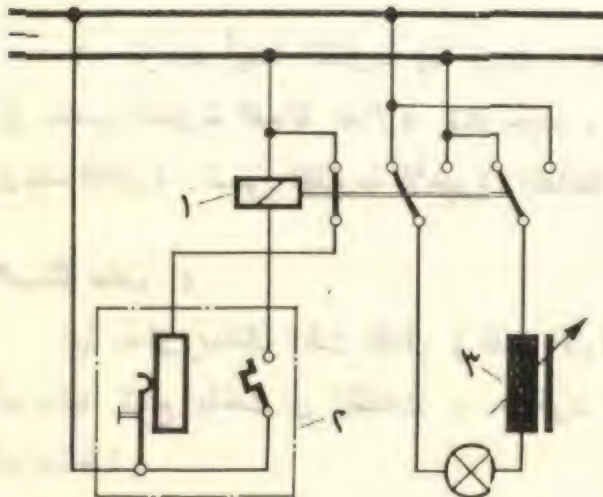


شكل ١٨٢ : تصرف ملف كابح للتيار في دائرة تيار مستمر

١ - مصدر للجهد .

٢ - مصباح متوهج .

٣ - ملف متغير كابح للتيار .



شكل ١٨٣ :

ترتيبة تبين تصرف ملفات المحاثة في دوائر التيار المتردد

١ - متابع .

٢ - مفتاح كهربائي حراري .

٣ - مصباح متوهج وملف متغير كابح للتيار .

تعاد نفس الدورة ، عندما يشغل المتابع ثقفل ملامسات المفتاح الكهربائي الحرارى ، ويغذى المصباح المتوهج والملف الكابح للتيار بتيار ذى اتجاه عكسى . يعطى الجدول التالى شروط الاختبار التى تشغل تحتها ترتيبية الدائرة هذه وكذلك النتائج التى يحصل عليها :

شروط الاختبار	النتيجة
تردد ١ هز ثغرة الهواء حرة	يشع المصباح ضوءا خافتا ، بمقارنته بالضوء الذى يشعه المصباح عند تشغيله بالتيار المستمر .
تردد ١,٥ هز ثغرة الهواء حرة	يكون الضوء أخفت منه فى الحالة السابقة .
تردد ٢ هز ثغرة الهواء حرة	يكون الضوء أخفت منه مع تردد ١,٥ هز
تردد ١ هز نصف ثغرة الهواء مقفلة	يكون الضوء أخفت منه مع تردد ١ هز ، ثغرة الهواء حرة .
تردد ١ هز ثغرة الهواء مقفلة	يكون الضوء أخفت منه مع تردد ١ هز ونصف ، ثغرة الهواء مقفلة .

ومن هذا يستخلص الآتى :

- ١ - تزداد المقاومة بازدياد التردد فى دائرة التيار المتردد التى تحوى ملفات محاثية .
 - ٢ - تزداد أيضا المقاومة إذا ازداد الحث المغنيسى للملف فى دائرة تيار متردد .
- إلى جانب المقاومة الفعالة لدائرة تيار متردد ، يمكن حدوث مقاومة ناتجة عن ملفات المحاثية فى هذه الدائرة . تسمى المقاومة الأخيرة « المفاعلة الحثية » .

محاثية ملف :

فيما يتعلق بمناقشة الحث الذاتى (القسم الأول - الفصل العاشر) ، يمكننا ملاحظة أن طاقة كهربائية تنتج بالحث فى الملفات ، ويكون اتجاهها الفعال عكس الاتجاه الفعال للطاقة المولدة لها .

وإذا تغيرت شدة التيار في ملف بمقدار أمبير واحد ، في دقيقة واحدة ، وإذا أنتج بالحث في نفس الوقت جهد قيمته فلف واحد في هذا الملف ، يكون الملف محاثا قيمتها

$$\frac{1 \text{ فل ث}}{\text{مب}} = \frac{\text{وب}}{\text{مب}}$$

ووحدة المحاثية $\frac{1 \text{ وب}}{\text{مب}}$ تسمى هنرى نسبة إلى عالم لطبيعيات ج . هنرى (J . Henry)
(١٧٩٧ - ١٨٧٨) .

$$1 \text{ هنرى} = \frac{1 \text{ وب}}{\text{مب}}$$

ورمز المحاثية هو ح

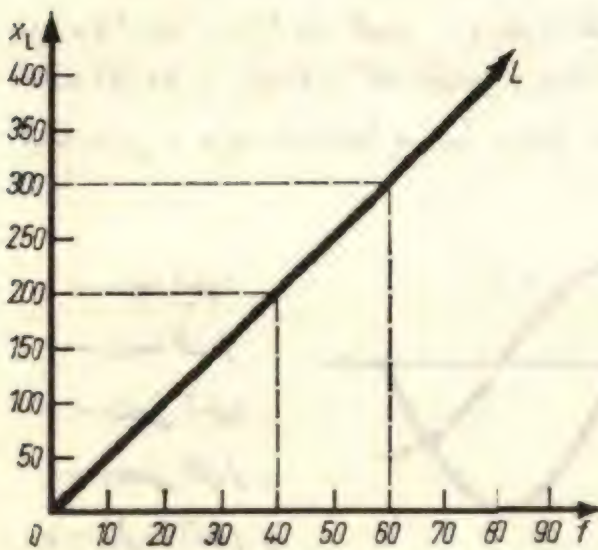
المفاعلة الحثية وتعيينها : يمكن التحقق بالاختبارات من أن المفاعلة الحثية مف لملف ما هي حاصل ضرب التردد الزاوي ω في المحاثية ح ، وعليه فإن :

$$\text{مف ح} = \omega \times \text{ح}$$

ونحصل على وحدة المفاعلة الحثية مف ح من

$$\Omega = \frac{\text{فل ث}}{\text{مب}} = \frac{\text{فل ث}}{\text{مب}} \times \frac{1}{\text{ث}} = \frac{\text{وب}}{\text{مب}} \times \frac{1}{\text{ث}}$$

ويبين الاعتماد المتبادل بين التردد الزاوي ، والمحاثية ، والمفاعلة الحثية بالشكل (١٨٤) .
ومحاثية الملف المستخدمة في هذا الاختبار هي ٥ هنرى .



شكل ١٨٤ : العلاقات المتبادلة بين

$$L , X_L , \omega$$

حيث ω = السرعة الزاوية للتردد .

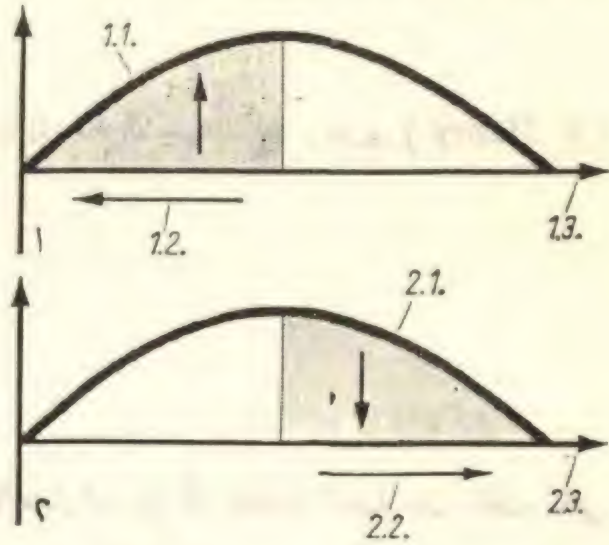
$$X_L = \text{مف ح} = \text{المفاعلة الحثية} .$$

$$L = \text{ح} = \text{الحث} .$$

المحثة والعلاقة المؤقتة بين الجهد والتيار :

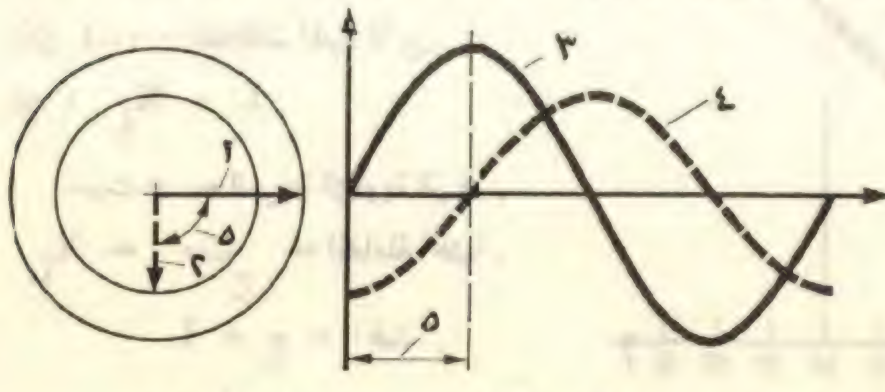
لقد نوقش تصرف ملف في دائرة تيار مستمر على أساس الحث الذاتي ، ويفسر هنا تأثير الحث الذاتي على الجهد المتردد والتيار المتردد :

- شكل ١٨٥ :
- الجهد المنتج بالحث في ملف محثة خلال نصف دورة
- (١) - $1/1$ - طور المجال النامي .
- ٢/١ - اتجاه الجهد المنتج بالحث .
- ٣/١ - اتجاه التيار المتردد .
- (٢) - $1/2$ - طور المجال المتلاشي .
- ٢/٢ - اتجاه الجهد المنتج بالحث .
- ٣/٢ - اتجاه التيار المتردد .



يبين الشكل (١٨٥ - ١) تكوين المجال المغنطيسي للملف محثة ، واتجاه القوى الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث ، بينما يبين الشكل (١٨٥ - ٢) خبو هذا المجال ، واتجاه القوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث ، خلال نصف موجة . وإذا ضمت لدائرة كهربائية ملفات محثة خارجية (وهذا لا يحدث في الحياة العملية) ، فيمكن بسهولة شرح الظاهرة التي تحدث في دائرة تيار متردد ، والمبينة في الشكل (١٨٥) ، ولا يمكن زيادة جهد متردد مسلط للملف محثة بين الوضعين صفر ، 90° إلى درجة كما هو الحال إذا حملت الدائرة بمقاومات فعالة .

ونتيجة للقوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث التي يكون اتجاهها ، عكس اتجاه الجهد المتردد ، يكون الأخير متعادلا ولو جزئيا . وحيث أنه لا يمكن أن يسرى تيار كهربائي ، دون وجود فرق جهد ، فيسرى التيار في هذه الحالة فقط إذا انخفض الجهد المتردد في الوضعين من 90° إلى 180° إلى الصفر . ويكون للقوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث نفس اتجاه الجهد المتردد . ويضاف كلا الجهدين ويعملان بحيث ، يظهر جهد منتج بالحث عند جهد متردد قيمته صفر ، وبهذه الكيفية يمر تيار ويصل الجهد المتردد المسلط إلى قيمة الصفر ويغير اتجاهه .



شكل ١٨٦ : فرق الطور بين الجهد والتيار في حالة حمل حثي بحت

يسمى الفرق المؤقت بين الجهد والتيار « إزاحة الطور » أو « فرق الطور » (الشكل ١٨٦) .
ويعبر عن قيمة فرق الطور بزاوية الطور ϕ .

إذا كانت هناك ملفات محاثية في دائرة تيار متردد : يحدث فرق مؤقت بين ظهور الجهد والتيار . ويقال عن التيار الذى يظهر متأخرا بأنه متخلف في الطور .

(هـ) المفاعلات السعوية في دائرة التيار المتردد :

تصرف المواسعات في دائرة التيار المستمر :

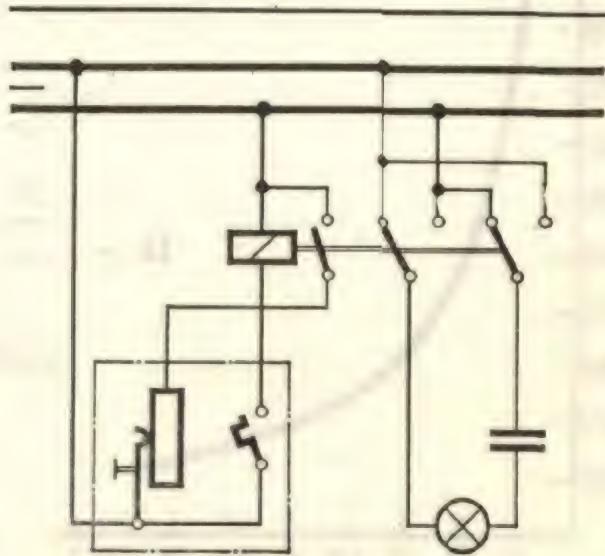
تسمى النبيلة الكهربائية التي لها مواسعة « المواسع » . وأظهرت مناقشة المجالات الكهربائية المتجانسة أن المواسع الذى يوصل لدائرة تيار مستمر يشحن ، وأنه لا يسمح بمرور تيار خلال مواسع مشحون . وعندما يعتبر مواسع كأنه مقاوم تكون للمقاومة م للمواسعة ، في دائرة التيار المستمر ، قيمة لا نهائية ($\infty = M$) .

للمواسعات في دائرة التيار المستمر مقاومة لا نهائية القيمة .

تصرف المواسعات في دائرة التيار المتردد :

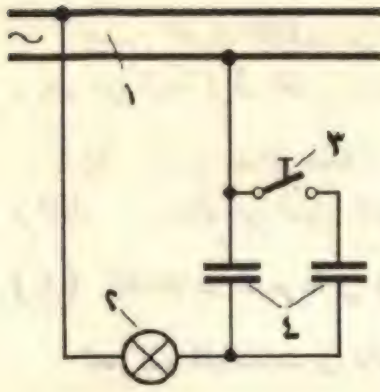
لبحث تصرف مواسع في دائرة تيار متردد (الشكل ١٨٧) تستخدم نفس الترتيبة المبينة في الشكل (١٨٣) . ويستخدم بدلا من الملف الكابح للتيار مواسع . وكما في اختبار المحاثات ، تبين شروط الاختبار والنتائج التي يحصل عليها في حالة المواسعات في دائرة التيار المتردد على شكل جدول :

النتيجة	شروط الاختبار
لا يضيء المصباح	تردد ١ هز
يشع المصباح ضوءا خافتا	تردد ١,٥ هز
يشع المصباح ضوءا أكثر	تردد ٢ هز



شكل ١٨٧ :

ترتيبة تبين تصرف المواسعات
في دوائر التيار المتردد



شكل ١٨٨ : ترتيبية تبين تصرف المواسعات ذات المواسعات المنخفضة والعالمية في دوائر التيار المتردد
 ١ - تردد المصدر = ٥٠ هز
 ٢ - مصباح متوهج .
 ٣ - مفتاح كهربائي .
 ٤ - مواسعات .

يبين الشكل (١٨٨) ترتيبية دائرة يوصل فيها مواسع آخر على التوازي ، مع مواسع موصل على التوالى مع مصباح ، عن طريق مفتاح كهربائي . لنفرض أن التردد هو ٥٠ هز ، ويكون للمواسع المختار قيمة ، بحيث يشع عندها المصباح المتوهج ضوءا خافتا عند فتح المصباح الكهربائي . وعند تشغيل المفتاح الكهربائي ، لتوصيل المواسع الثانى بالمواسع الأول على التوازي ، تتضاعف القدرة الضوئية للمصباح . ومن الواضح أن المقاومة تنخفض بازدياد المواسعة ، ومن هذا :

١ - تنخفض المقاومة بازدياد التردد ، في دائرة تيار متردد لها مواسعات .

٢ - تنخفض المقاومة بازدياد المواسعة ، في دائرة تيار متردد .

تسمى المقاومة الناتجة عن المواسعات في دائرة تيار متردد بالمفاعلة السعوية .

المفاعلة السعوية وتعريفها :

يمكن التحقق بالاختبارات من أن المفاعلة السعوية مـفـ هي مقلوب حاصل ضرب التردد

الزاوى فى المواسعة س ، وعليه فإن :

$$\text{مـفـ س} = \frac{1}{\omega \times \text{س}}$$

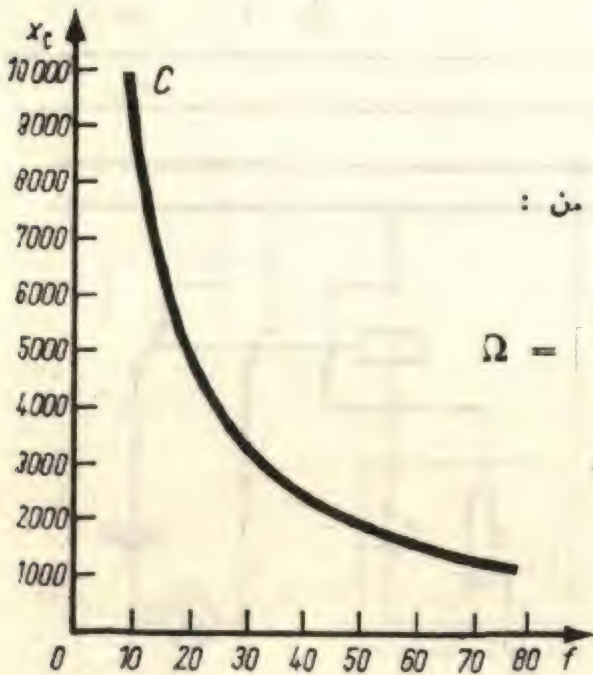
ونحصل على وحدة المفاعلة السعوية مـفـ س من :

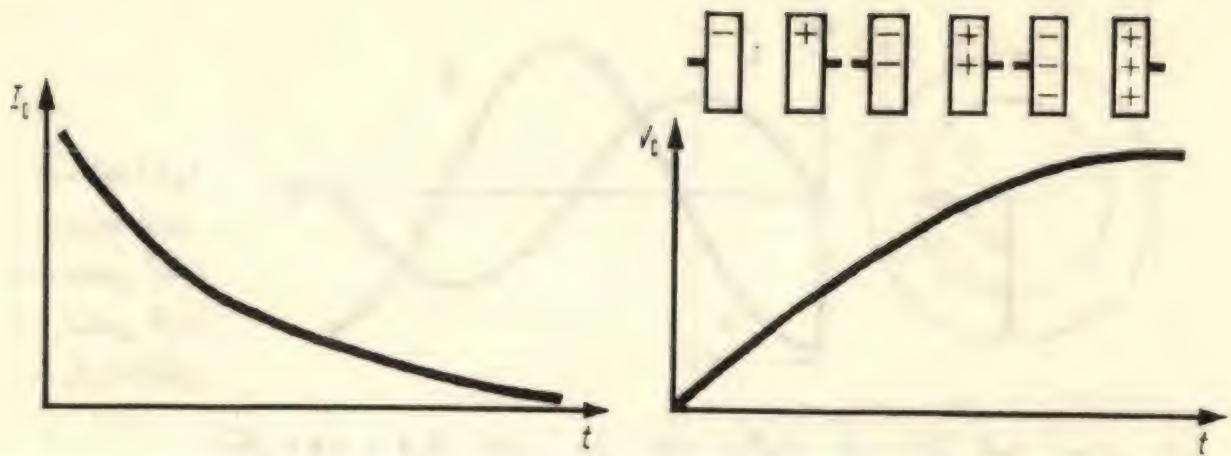
$$\Omega = \frac{\text{فل}}{\text{مـب}} = \frac{\text{ت}}{\text{مـب ت}} = \frac{1}{\frac{\text{مـب ت}}{\text{فل}}} \times \frac{1}{\text{ت}}$$

ويبين الشكل (١٨٩) الاعتماد التبادلى بين التردد

الزاوى ، والمواسعة ، والمفاعلة السعوية .

شكل ١٨٩ : العلاقة بين س ، مـفـ س





شكل ١٩١ : توليد الجهد خلال شحن مواسع في مرحلة $\frac{1}{4}$ دورة

شكل ١٩٠ : توليد التيار خلال شحن مواسع في مرحلة $\frac{1}{4}$ دورة

المواسعة والعلاقة الموقته بين الجهد والتيار :

تسبب المواسعات أيضاً ، كما هي الحال في المحاثات ، فرق طور بين الجهد والتيار ، في دائرة التيار المتردد .

يبين الشكل (١٩٠) منحنى الجهد أثناء شحن مواسع خلال $\frac{1}{4}$ دورة . وكما نعرف ، يسمح بمرور تيار ، فقط ، حتى يتم شحن المواسع ، وهذا يعني أن التيار ينخفض من قيمة مبدئية إلى قيمة الصفر (الشكل ١٩١) .

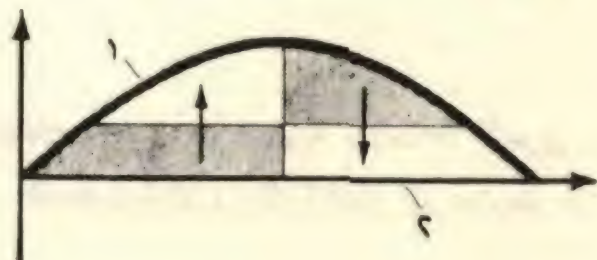
وكما هو الحال في المحاثات ، حيث تتكون المجالات المغنطيسية وتخبو ، تتكون المجالات الكهربائية للمواسعات وتخبو ، خلال مرحلة نصف موجة (الشكل ١٩٢) . عند إدماج مواسعات خارجية في دائرة كهربائية (وهذا لا يحدث في الحياة العملية عادة) يمكن تمثيل حدوث الجهد والتيار بالنسبة للزمن بطريقة بسيطة (الشكل ١٩٣) .

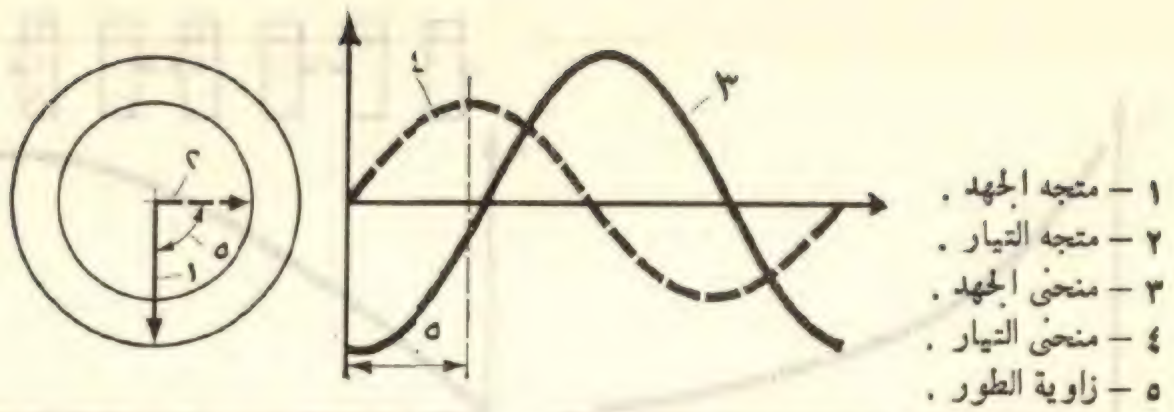
عند إدماج مواسعات في دائرة تيار متردد ، يظهر الجهد والتيار في أوقات مختلفة ، ويكون التيار متقدماً زمنياً .

(و) التطبيق العام لقانون أوم على دائرة تيار متردد :

يبين مما سبق ذكره ، فيما يختص بدائرة التيار المتردد ، أن المقاومات الفعالة ، والمفاعلات الحثية ، والمفاعلات السعوية ، يمكن أن تحدث في هذه الدائرة .

شكل ١٩٢ : تكوين وخبو مجال كهربائي خلال نصف موجة .
١ - تكوين مجال كهربائي .
٢ - خبو مجال كهربائي .





شكل ١٩٢ : فرق الطور بين الجهد والتيار في حالة حمل سعوى يمت

ولا تحدث المقاومات الفعالة أى تأثير على فرق الطور بين الجهد والتيار .
والمعاوقة مع ، لدائرة تيار متردد ، تحوى مقاومات فعالة ، ومفاعلات حثية ، والتي
تنتج من القيم الفعالة للجهد المتردد والتيار المتردد ، والتي تخالف المقاومة م ، تعطى بالعلاقة :

$$\overline{V^2} = \overline{V_m^2} + \overline{V_c^2} = \overline{V^2} + \overline{V_c^2}$$

حيث مع = المعاوقة .

م = المقاومة

مف = المفاعلة الحثية

ω = التردد الزاوى

ح = الحثية

وإذا أدمجت مقاومات فعالة ومفاعلات سعوية ، في دائرة تيار متردد ، فتعطى المعاوقة
بالعلاقة :

$$\overline{V^2} = \overline{V_m^2} + \overline{V_s^2} = \overline{V^2} + \overline{V_s^2}$$

حيث : مف س = المفاعلة السعوية .

س = المواسعة .

وتماكس فروق الطور الناتجة ، بواسطة المفاعلات الحثية ، والسعوية ، إحداها الأخرى .
ولهذا السبب ، يصبح الفرق بين كلا النوعين من المفاعلات فعالا في دائرة التيار المتردد وهو :

$$V = \sqrt{\left(\frac{1}{\omega \times S} - C \times \omega \right)^2 + M^2}$$

$$V = \sqrt{\left(\frac{M}{S} - C \right)^2 + M^2}$$

وإذا عبر عن الفرق (مـ ح - مـ س) بالمفاعلة مـ

ينتج أن :

$$V = \sqrt{M^2 + M^2}$$

ومن هذا ينتج أنه يمكن تطبيق قانون أوم على دائرة تيار متردد في الشكل العام .

$$T = \frac{C}{M}$$

$$T = \frac{C}{\sqrt{\left(\frac{1}{\omega \times S} - M \times \omega \right)^2 + M^2}}$$

١٢/٤ - الشغل الكهربائي ، والقدرة الكهربائية للتيار المتردد :

إذا كان هناك تطابق بين طور جهد و طور تيار ، في دائرة تيار متردد ، نحصل على قدرة ظاهرية من حاصل ضرب القيم الفعالة للجهد والتيار :

$$Q = C \times T$$

حيث يرمز الحرف Q للقيمة الظاهرية ، ويرمز الحرف F للقيمة الفعالة .

وبالمثل ، بالنسبة للشغل الظاهري ، نجد أن :

$$Q = Z \times C = Z \times T \times F$$

وعلى كل ، فإن القدرة الحقيقية لدائرة تيار متردد ، تعين بواسطة فرق الطور ، الحادث عن المفاعلات الحثية والسعوية .

وتسمى هذه القدرة « القدرة الحقيقية » أو « القدرة الفعالة » Q للتيار المتردد .

ويفسر ذلك بمساعدة الشكل (١٩٤) . وتكون الزاوية بين طور الجهد و طور التيار في منحني العلاقة بينهما ، مساوية ٤٥° . وبضرب القيم اللحظية للجهد والتيار ، يمكن تكوين مساحات كما هو مبين في الشكل (١٧٩) . ونجد على كل ، أن هذه المساحات موجودة في المدى السالب ، فهي تحدث في هذه المقاطع ، التي لا يظهر فيها الجهد والتيار معاً في المدى السالب ، أو في المدى

الموجب ($- = + \times -$ ، $- = - \times +$) ويجب طرح هذه المساحات السالبة من المساحات الموجبة . وبتعبير آخر ، يقترب متوسط القدرة الفعالة قرب محور الزمن ، كلما كان فرق الطور كبيراً .

ويمكن تعيين القدرة الفعالة في دائرة تيار متردد بواسطة جيب تمام زاوية الطور ، ويسمى التعبير جتا Φ « عامل القدرة » للتيار المتردد . وتعطى القدرة الفعالة بالصيغة التالية :

$$\text{قد} = \text{قد ظ} \times \text{جتا } \Phi$$

$$= \text{ج ف} \times \text{ت ف} \times \text{جتا } \Phi$$

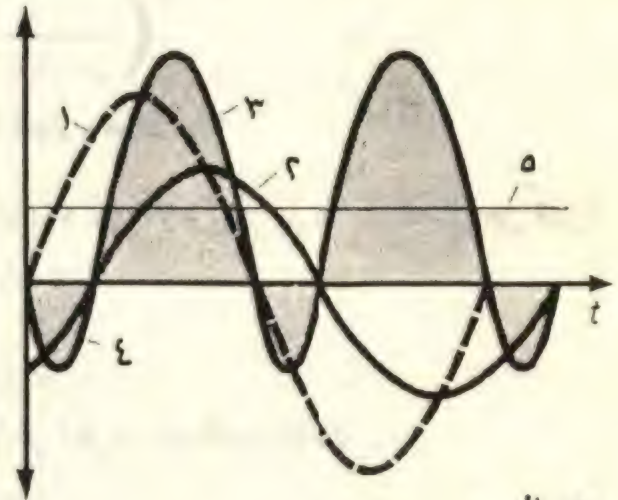
وبالتالى ، يكون الشغل الفعال للتيار المتردد :

$$\text{ش} = \text{قد ظ} \times \text{ز}$$

$$= \text{ج ف} \times \text{ت ف} \times \text{جتا } \Phi \times \text{ز}$$

شكل ١٩٤ : القدرة الفعالة للتيار المتردد عند فرق طور 45°

- ١ - منحنى الجهد .
- ٢ - منحنى التيار .
- ٣ - مساحة القدرة في المدى الموجب .
- ٤ - مساحة القدرة في المدى السالب .
- ٥ - القيمة المتوسطة للقدرة عند $\Phi = 45^\circ$.



مثال :

سلط جهد متردد قيمته ٣٨٠ فلت ، على محرك كهربائى ، وكان دخل التيار ١٠٥ أمبير ، وعامل القدرة ٠,٨٠ . فما القدرة الظاهرية ، والقدرة الفعالة هذا المحرك الكهربائى ؟

المعطيات : ج = ٣٨٠ فلت .

ت = ١٠٥ أمبير .

جتا $\Phi = 0,80$

المطلوب : قد ظ ، قد ف

الحل :

$$\text{قد ظ} = \text{ج ف} \times \text{ت ف}$$

$$= 380 \times 1,5 = 570 \text{ واط}$$

لتمييز القدرة الظاهرية عن القدرات الأخرى ، يستعمل التعبير فل . مب (فلت - أمبير)
بدلاً من التعبير واط تدف = ج ف × ت ف × جتا Φ

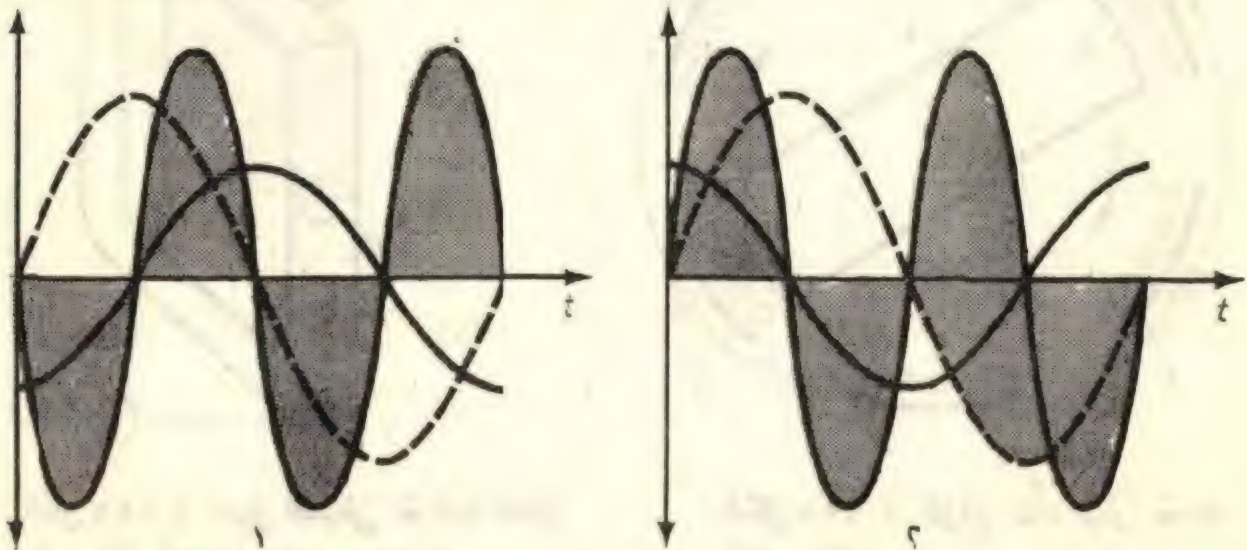
$$= 380 \times 1,5 \times 0,8 = 456 \text{ واط}$$

الأهمية العملية لعامل القدرة :

يمكن التحقق بواسطة الدالات المثلثية من أن زاوية الطور تصبح - ٥٩٠ أو ٥٩٠ في الدائرة الكهربائية ذات الأحمال السعوية البحتة ، والحثية البحتة (الشكل ١٩٥) .

ويبين هذان المنحنيان للقدرة ، أنه ليس هناك قدرة فعالة في هاتين الحالتين . ولقد سبق أن قيل إن هاتين الحالتين لا تحدثان عملياً . ويمكن أن يكون لعامل القدرة أى قيمة بين صفر ، ١ في الحالتين الأخيرتين ، كان عامل القدرة صفرًا ، بينما يكون عامل القدرة ١ في الدائرة ذات الحمل الأوى البحت .

وفي الحياة العملية ، تبذل محطات القوى كل المحاولات الممكنة لضمان عامل قدرة تكون قيمته أقرب إلى الواحد الصحيح ما أمكن ، حيث أن القدرة الظاهرية المولدة تكون أكبر كلما صغر عامل القدرة ، ويمكن تحسين عامل القدرة لتركيبية كهربائية بواسطة تدابير مناسبة .



شكل ١٩٥ : فرق الطور لأحمال سعوية بحتة وحثية بحتة

١ - منحنى القدرة بحمل حثي بحت .

٢ - منحنى القدرة بحمل سعوي بحت .

فثلا ، بإدخال مواسعات إضافية ذات مواسعات عالية ، إذا كان الحمل الحثي عاليا للغاية أو بواسطة الاستخدام الاقتصادي للمحركات الكهربائية والمحولات .

٥/١٢ - التيار المتردد الثلاثي الطور :

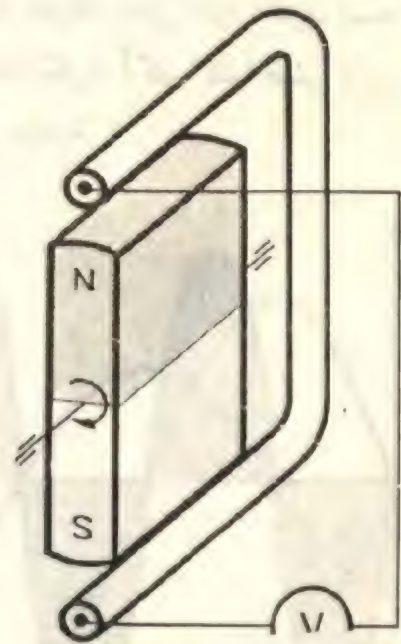
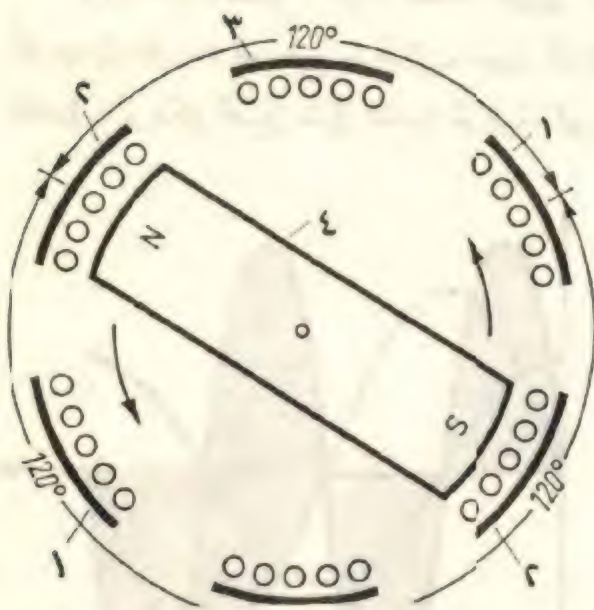
(١) تمثيل التيار المتردد الثلاثي الطور :

بنيت اعتباراتنا عن التيار المتردد على أساس النموذج البسيط لمولد تيار متردد (انظر الشكل ١٦٧) . ولقد بينت تفسيرات الحث المغنطيسي أنه ليس هناك اختلاف بين تحريك الموصل أو تحريك المغنطيس لإحداث الحث . ويبين الشكل (١٩٦) التمثيل التخطيطي لترتيبة لتوليد تيار متردد بدوران مغنطيس بينما يكون الموصل ثابتا .

التيار المتردد الأحادي الطور :

تطور التيار المتردد الأحادي الطور الذي تولد في بداية الكهرباء ، والذي كان موضوع مناقشاتنا السابقة إلى التيار المتردد الثلاثي الطور . وبالشكل (١٩٧) نموذج لمولد تيار متردد ثلاثي الطور . ولهذا المولد ملامح مميزة ، حيث أن لفيفاته الثلاثة موضوعة بحيث يكون بينها تباعد قيمته ١٢٠° .

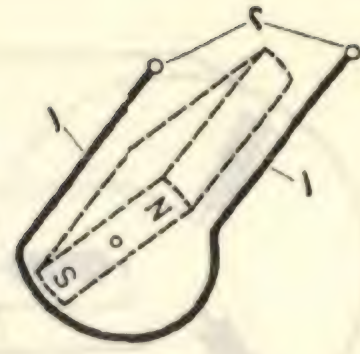
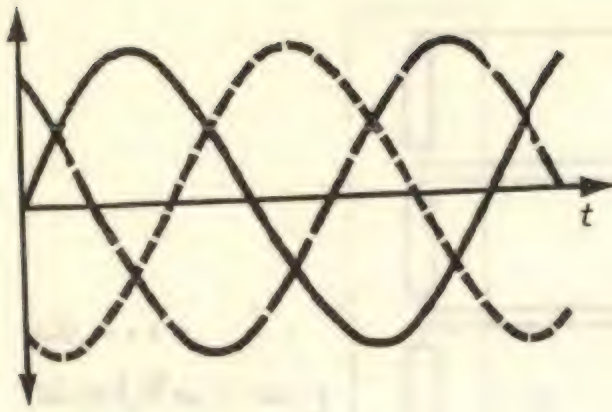
يبين الشكل (١٩٨) التمثيل التخطيطي لترتيبة لإحدى هذه اللفيفات .



شكل ١٩٧ : نموذج لمولد تيار متردد ثلاثي الطور

- ١ - لفيفة I (نهايات ش ، ص) .
- ٢ - لفيفة II (نهايات ض ، ص) .
- ٣ - لفيفة III (نهايات غ ، ع) .
- ٤ - مغنطيس دوار .

شكل ١٩٦ : تمثيل تخطيطي لترتيبة تشتمل على حلقة ثابتة ومغنطيس متحرك



شكل ١٩٩ : التيار المتردد الثلاثي الأطوار

شكل ١٩٨ : وضع الليفة

١ - أجزاء الموصل انفعالة للحث المغنطيسي الكهربائي .

٢ - التوصيلات (مثل س ، ش) .

عندما يدور المغنطيس في مثل هذا المولد ، تنتج جهود مترددة ، تكون بينها زاوية طور 120° ، ويبين الشكل (١٩٩) ثلاث منحنيات لجهد متردد جيبي بينها فرق طور مقداره 120° .

وعند تمثيل لفيفات مولد تيار متردد ثلاثي الأطوار بفاعلات حثية ، وتمثيل الحمل بمقاومات أومية ، نحصل على نظام مفتوح ثلاثي الأطوار (الشكل ٢٠٠) .

ويعتمد التردد الذي يمر به الجهد المتردد والتيار المتردد ، خلال هذا النظام الثلاثي الأطوار ، على عدد أزواج الأقطاب ، أو سرعة الدوران للمغنطيس الدوار . وبالشكل (١٩٧) نموذج لمولد مزود بزوج واحد من الأقطاب (مغنطيس واحد بقطب جنوبي واحد وبقطب شمالي واحد) .

وعليه ، يكون عدد أزواج الأقطاب = ١

وإذا كان التردد ٥٠ د/ث ، تكون سرعة الدوران :

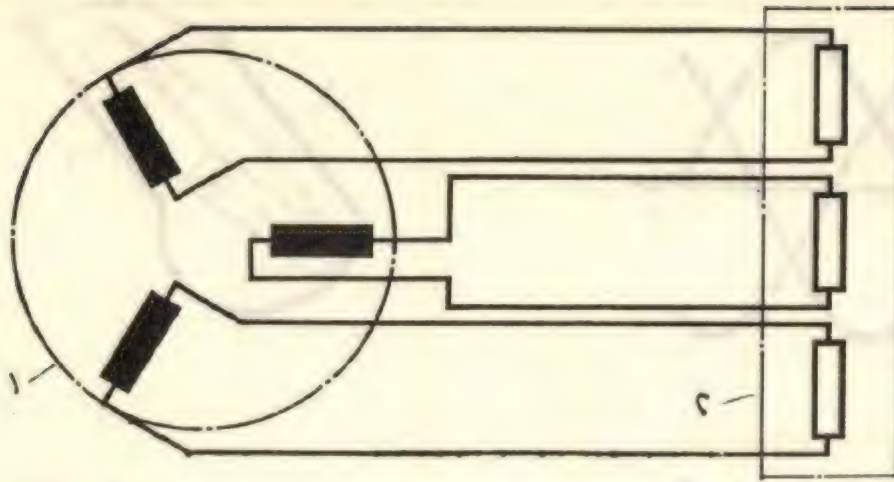
$$\text{سرعة الدوران} = \frac{\text{التردد} \times 60}{\text{عدد الأقطاب}}$$

$$= \frac{60 \times 50}{1} \times \frac{1}{3000} = \text{دورة في الدقيقة}$$

يدور العضو الدوار بسرعة ٣٠٠٠ دورة في الدقيقة لتوليد تردد قيمته ٥٠ د/ث .

مثال :

أوجد سرعة الدوران لمولد رباعي الأقطاب ، مصمم لتوليد تيار ثلاثي الأطوار بتردد $16\frac{2}{3}$ د/ث .



شكل ٢٠٠ :

نظام ثلاثي الأطوار مفتوح

١ - لفيفات المولد .

٢ - حمل على هيئة

مقاومات أومية .

المعطيات : عدد أزواج الأقطاب = ٤

$$\text{التردد} = ١٦ \frac{2}{3} \text{ د/ث}$$

المطلوب : سرعة الدوران

الحل :

$$\text{سرعة الدوران} = \frac{\text{التردد} \times ٦٠}{\text{عدد أزواج الأقطاب}}$$

$$= \frac{١}{\text{دقيقة}} \times \frac{٦٠ \times ١٦ \frac{2}{3}}{٤}$$

$$= \frac{١}{\text{دقيقة}} \times \frac{٦٠ \times \frac{٥٠}{3}}{٤}$$

$$= ٢٥٠ \text{ دورة في الدقيقة}$$

يدور المولد بسرعة ٢٥٠ دورة في الدقيقة .

(ب) الترابط المتبادل بين الأطوار في توصيلات النجمة والدلتا :

الترابط المتبادل بين الأطوار في توصيلة النجمة :

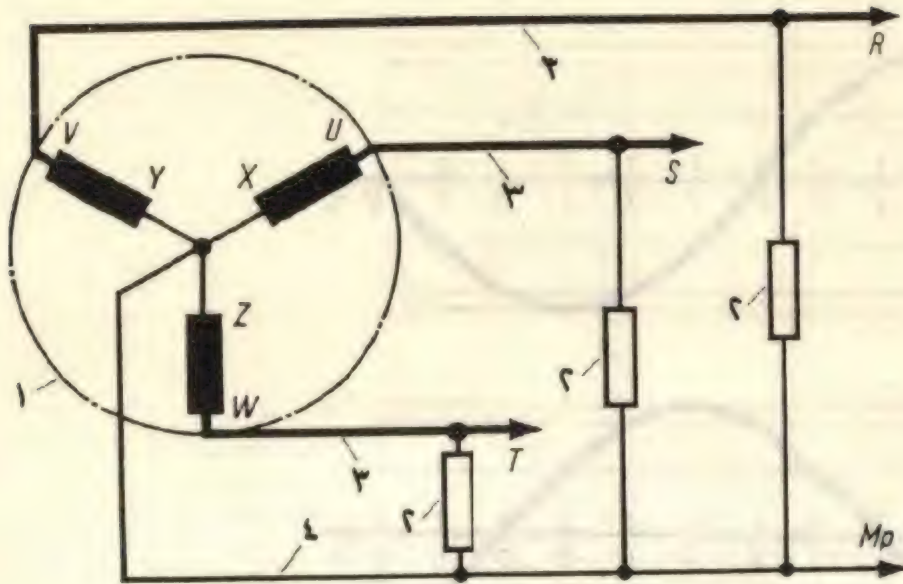
يحتاج النظام المفتوح الثلاثي الأطوار إلى ستة خطوط لنقل القدرة الكهربائية . وعلى كل ، فعند

توصيل لفيفات المولد توصيلاً متداخلاً ، يكتب بأربعة خطوط بجهدين مختلفي القيمة .

وسيؤخذ في الاعتبار هنا بمثل هذا النظام ذي الأربعة أملاك . يبين الشكل (٢٠١) اللفيفات

الثلاثة لمولد ، مرتبة ترتيباً يعرف بتوصيلة النجمة ، أو توصيلة Y . وتوصل الأسلاك المرفقة

للتحيز بينها بالرمز س X ، ص Y ، ع Z ، إلى نقطة توصيل نجمة أو نقطة تعادل .



شكل ٢٠١ : نظام أربعة أسلاك في توصيلة نجمة

- ١ - لفيفات المولد .
- ٢ - حمل على هيئة مقاومات أومية ، نقطة تعادل ن .
- ٣ - موصلات خارجية ر ، ث ، ت ، س ، R

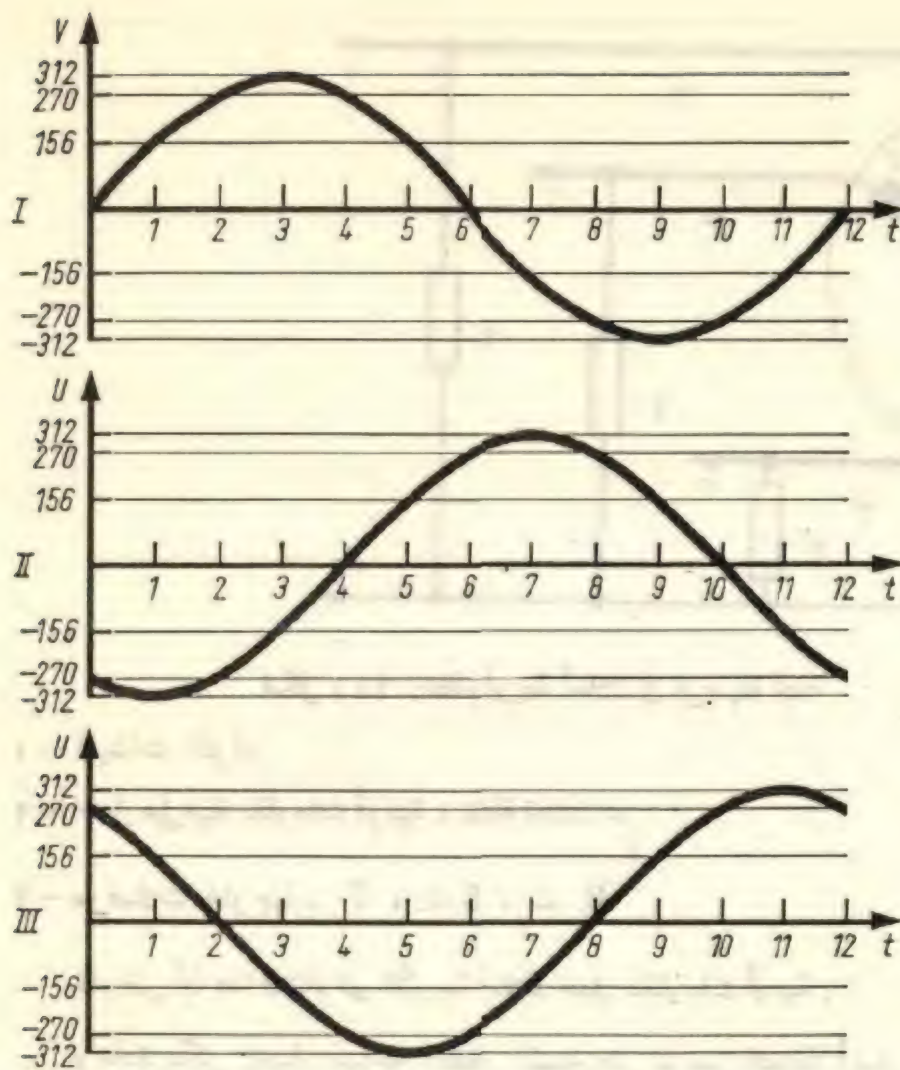
نفرض أن هذا النظام ذو الأربعة أسلاك حمل بمقاومات أومية .
وعادة يمكن إعتبار مساحة المقطع المستعرض لموصل التعادل أصغر من الأسلاك الخارجية .
والسبب في هذا مبين بالشكل (٢٠٢) الذي يشمل جدولاً به حاصل جمع الجهود الجزئية في نفس الأطوار .

يبين هذا الجدول ، أنه في أي لحظة ، يكون مجموع الثلاثة جهود في توصيلة نجمة مساوياً لصفر .

وإذا كان الحمل على الموصلات الخارجية هو نفسه في جميع الحالات الثلاثة (وهذا نادراً ما يحدث عملياً) ، يكون مجموع التيارات الثلاثة مساوياً لصفر أيضاً ، كما لا يحمل موصل التعادل تياراً . وحيث أنه ، على أية حال ، تكون الأحوال دائماً غير متساوية فإنه يمر دائماً تيار رجوع معين خلال موصل التعادل .

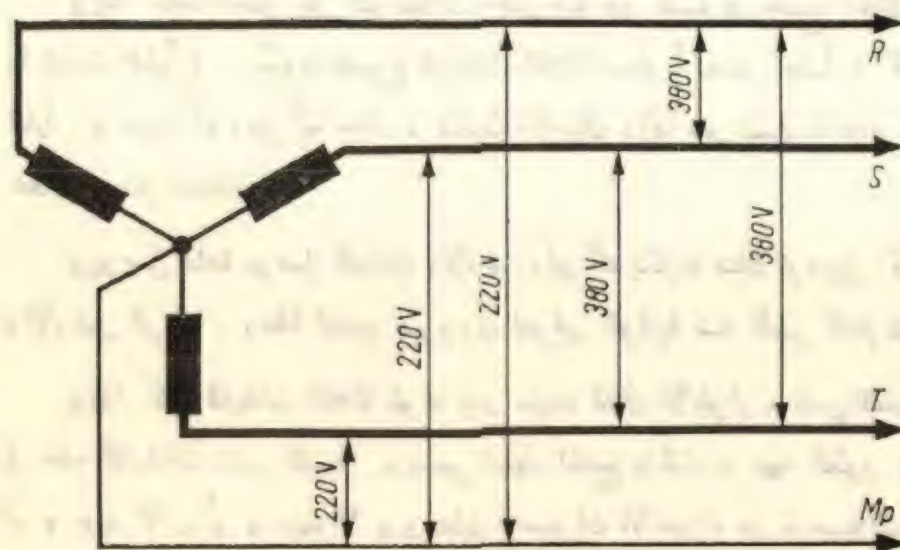
ويوصل عادة موصل التعادل بالأرض ، أي أنه يكون هناك توصيل كهربائي بين نقطة التعادل والأرض الرطبة . وهذا التدبير ضروري لتوفير الوقاية ضد اللمس العارض (التآريض الواق) .

وإذا كان للفيفات الثلاثة لمولد تيار متردد ثلاثي الأطوار ، نفس المقنن ، يكون للجهود المنتجة في هذه اللفيفات نفس القيمة . ويسمى الجهد المنتج بالحث « جهد الطور » ، أو جهد « النجمة » أو « جهد V » أو « جهد Y » وينطبق التعبيران الأخيران على توصيلات النجمة فقط . ومن هذا



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	156	270	312	270	156	0	-156	-270	-312	-270	-156	0
II	-312	-270	-156	0	156	270	312	270	156	0	-156	-270
III	156	0	-156	-270	-312	-270	-156	0	156	270	312	270
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

شكل ٢٠٢ :
منحنيات الجهد والتيار
متردد ثلاثي الأطوار
وحاصل جمعها

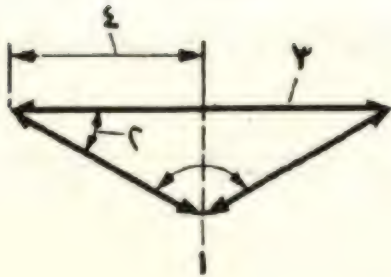


شكل ٢٠٣ :
شروط الجهد في أنظمة
الأربعة أسلاك
ج = ٢٢٠ فلت .
ج خط = ٣٨٠ فلت .

ينتج أن جهود الأطوار الثلاثة تكون متاحة، وهي J_N ر $(J_{MP} - R)$ ، J_N ، J_N ت $(J_{MP} - T)$ ، J_N ث $(J_{MP} - S)$. (J_{MP}) تعني النقطة الوسطى ، ويقصد بها هنا موصل التعادل). وعلاوة على ذلك ، يعطى نظام الأربعة أسلاك ثلاثة جهود بين الخطوط $J_{خط}$ أو يعطى جهودا بين طور وطور وهي J_{RS} ، J_{RT} ، J_{ST} . وإذا كانت القيمة الفعالة لجهود الطور هي ٢٢٠ فلت ، على سبيل المثال ، يكون الجهد بين طور وطور $J_{خط} = ٣٨٠$ فلت .

يبين الشكل (٢١٣) جهود نظام ذو أربعة أسلاك .

ويمكن إيجاد العلاقة العامة بين $J_{خط}$ ، $J_{طور}$ بواسطة مثلث الجهد (الشكل ٢٠٤) .



$$J_{خط} : J = \text{جتا } ٣٠^\circ$$

$$J_{خط} = ٢ \times J \times \text{جتا } ٣٠^\circ$$

$$J_{خط} = ٢ \times J \times \frac{1}{2} \sqrt{3}$$

$$J_{خط} = J \times \sqrt{3}$$

$$J_{خط} = ١,٧٣ \times J$$

شكل ٢٠٤ : مثلث الجهد لجهود الأطوار J بينها فرق طور ١٢٠°

١ - جهود الأطوار J بينها فرق طور ١٢٠°

٢ - زاوية ٣٠°

٣ - جهد الخط $J_{خط}$

$$٤ - \frac{J_{خط}}{2}$$

الجهود بين طور وطور ، في نظام ثلاثي الطور ، في توصيلة نجمة تساوى ١,٧٣ مرة جهد الطور J .

ولقد أفادنا النظام الثلاثي الأطوار بأربعة أسلاك في تكوين ترتيبات الدائرة الآتية :

توصيلة أحادية الطور : تركيبات الإضاءة ، الأجهزة الكهربائية المنزلية ، المحركات الكهربائية الموصلة بين الموصل الخارجي وموصل التعادل .

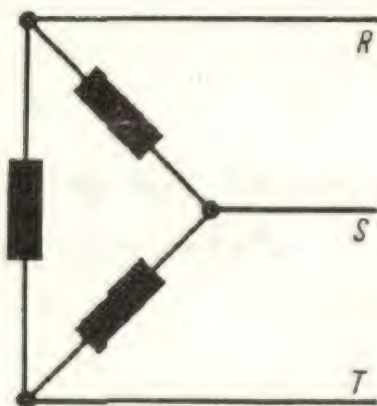
توصيلة ثنائية الأطوار : المحركات الكهربائية للتشغيل الثقيل بالتيار المتردد موصلة بين موصلين خارجيين .

توصيلة ثلاثية الأطوار : المحركات الكهربائية ثلاثية الأطوار ووحدات التسخين الصناعية ذات الخرج العالي ، الموصلة بين الموصلات الخارجية الثلاثة .

الترابط المتبادل بين الأطوار في توصيلة الدلتا :

يبين الشكل (٢٠٥) مثالا لمولد في توصيلة دلتا . ومن الواضح أنه يلزم لذلك ثلاثة موصلات خارجية (R ، S ، T) . وتبعاً لذلك يكون لفروق الجهد بين هذه الموصلات الخارجية نفس القيمة . وعلى كل ، لا يطبق ذلك على شدة التيار في دائرة كهربائية مقفلة (والدائرة المقفلة تعبر آخر لتوصيلة الدلتا) . ودائماً ، تصبح قيم شدة التيار لتيارات الأطوار فعالة ، كما هي الحال بالنسبة للجهود في توصيلة النجمة ، وعليه فإن :

$$I_{\text{خط}} = \sqrt{3} I_{\text{طور}} ، I_{\text{خط}} = 1.73 \times I_{\text{طور}}$$



شكل ٢٠٥ : توصيلة الدلتا

شدة تيار الموصل T خط في نظام ثلاثي الطور في توصيلة دلتا تساوي ١,٧٣ مرة شدة تيار الطور .

مثال :

قيست شدة تيار ت فكانت ١٢٠ أمبير بين الموصلات الخارجية لمولد توصيلة دلتا . أوجد شدة التيار في لفيفة واحدة ؟ .

المعطيات : تيار المرصل ت خط .

المطلوب : تيار الطور ت طور

الحل :

$$I_{\text{خط}} = I_{\text{طور}} \times \sqrt{3}$$

$$I_{\text{طور}} = \frac{I_{\text{خط}}}{\sqrt{3}} , \quad I_{\text{طور}} = \frac{120}{1.73} \text{ أمبير}$$

$$I_{\text{طور}} \approx 70 \text{ أمبير}$$

لصفات المولد محملة بتيار قيمته حوالى 70 أمبير

(ج) القدرة في دائرة تيار متردد ثلاثى الأطوار :

نص في (القسم الأول - الفصل الثانى عشر) ، على أن القدرة الفعالة لتيار متردد أحادى الطور ، تعطى بالعلاقة :

$$P = I \times V \times \cos \phi$$

وبافتراض أن الأحرف المستخدمة كرموز في العلاقات هي للجهود والتيارات أو القدرات الفعالة دون الإشارة إلى ذلك ، تحسب القدرة لكل طور من :

$$P_{\text{طور}} = I \times V \times \cos \phi$$

وللتيار المتردد الثلاثى الأطوار :

$$P = 3 \times I \times V \times \cos \phi$$

ولنبحث الآن عن التأثير الذى تبذله ترتيبية الدائرة الكهربائية المعطاة على تعيين القدرة في نظام تيار متردد ثلاثى الأطوار :

توصيلة دلتا

توصيلة نجمة

$$I_{\text{طور}} = I_{\text{خط}}$$

$$I_{\text{طور}} = \frac{I_{\text{خط}}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{\text{طور}} = \frac{I_{\text{خط}}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{\text{طور}} = I_{\text{خط}}$$

ومن هذا ينتج :

$$\Phi = \frac{3}{\sqrt{3}} \times \text{خط ج} \times \text{خط ت} \times \text{خط جتا} \Phi$$

$$\Phi = \frac{3}{\sqrt{3}} \times \text{خط ج} \times \text{خط ت} \times \text{خط جتا} \Phi$$

وباختصار كلتا المعادلتين نحصل على التعبير العام للقدرة للتيار المتردد ثلاثي الطور :

$$\Phi = \sqrt{3} \times \text{خط ج} \times \text{خط ت} \times \text{خط جتا} \Phi$$

$$\Phi = 1,73 \times \text{خط ج} \times \text{خط ت} \times \text{خط جتا} \Phi$$

مثال :

ما القدرة المحولة في نظام تيار متردد ثلاثي الطور ، إذ كانت شدة التيار المقاسة ١٣٠ أمبير ، عند جهد بين طور و طور قيمته ٣٨٠ فلت ؟ وكانت قراءة جهاز قياس عامل القدرة هي ٠,٧٨

$$\text{المعطيات : } \text{خط ج} = ٣٨٠ \text{ فلت}$$

$$\text{خط ت} = ١٣٠ \text{ أمبير}$$

$$\text{خط جتا} \Phi = ٠,٧٨$$

المطلوب : القدرة قد

الحل :

$$\Phi = 1,73 \times \text{خط ج} \times \text{خط ت} \times \text{خط جتا} \Phi$$

$$\Phi = 1,73 \times ٣٨٠ \times ١٣٠ \times ٠,٧٨$$

$$\Phi = ٦٣٤٦٦ \text{ واط ، قد} = ٦٣,٤٦٦ \text{ كيلوواط}$$

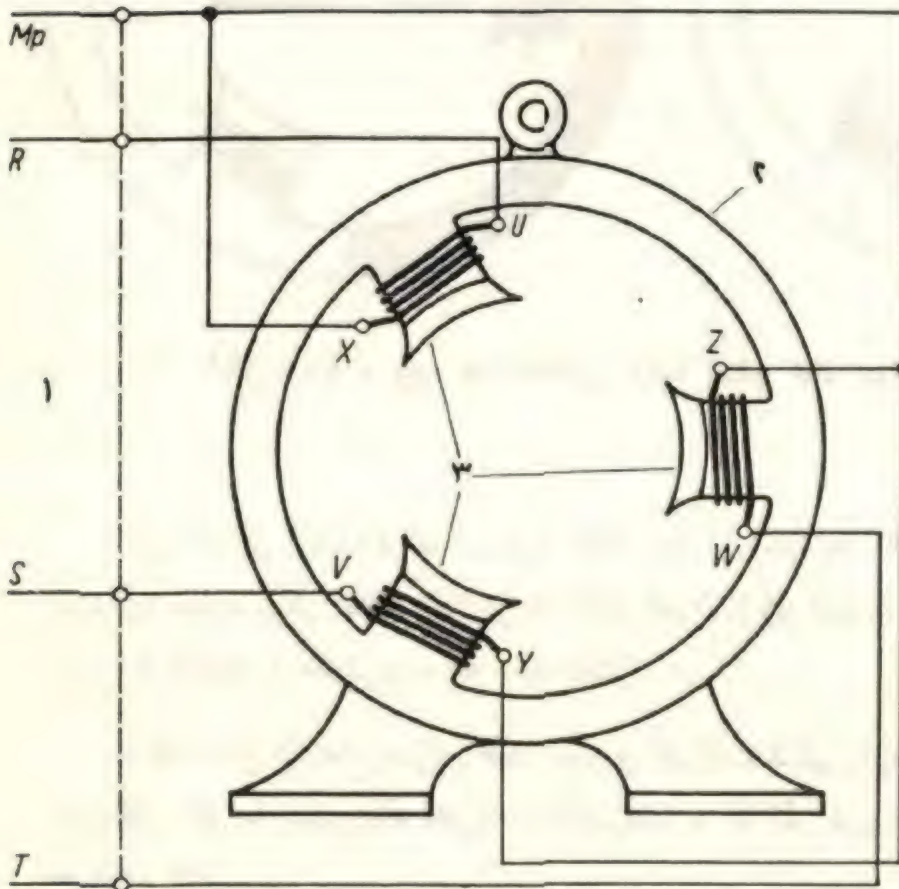
القدرة في هذه الدائرة الكهربائية للتيار المتردد ثلاثي الأطوار ٦٣,٥ كيلوواط تقريبا .

(د) المجال الدوار :

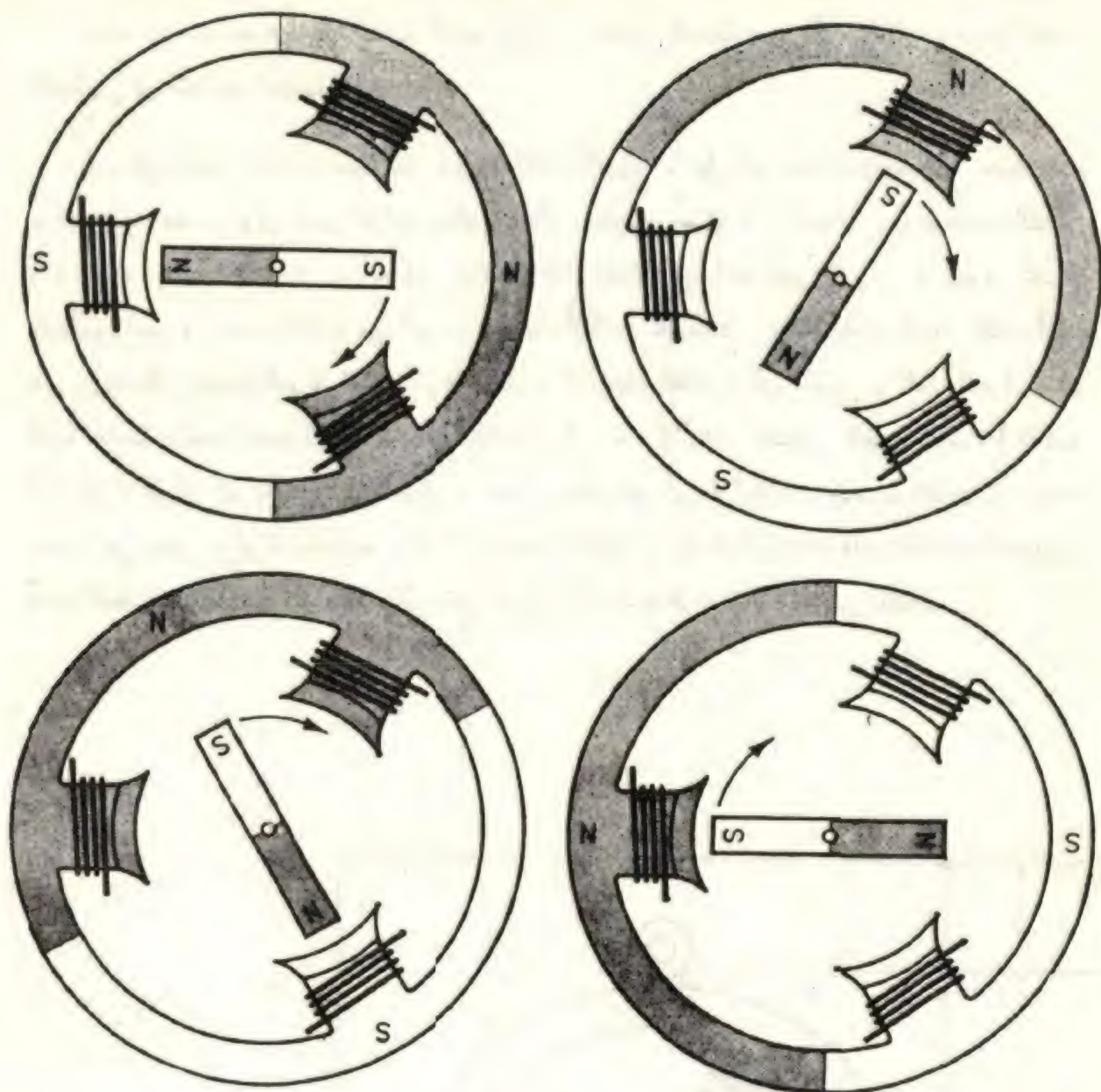
يصاحب التيار المتردد ثلاثي الأطوار ظاهرة تؤخذ في الاعتبار : حيث أنها ذات فوائد خاصة للاستخدام التجارى لهذا النوع من التيار . ويفسر هذا فيما يلى :

عند دراسة جوهر المغنطيسية الكهربائية ، ناقشنا العلاقة بين اتجاه التيار ونوع القطب المغنطيسي في الملفات الحاملة للتيار .

ويمكن إعتبار لفيفات مولد تيار متردد ثلاثي الأطوار ، على أنها ملفات ذات قلب حديد ينتج بالحث فيها جهد ، وفي نفس الوقت يتكون مجال مغنطيسي حول هذه الملفات . وبمساعدة الشكل (١٩٧) نتفهم بسهولة ، أنه إلى جانب المجال المغنطيسي للمغنطيس الدوار ، يدور مجال مغنطيسي آخر في الجزء الثابت من المولد ، أي عند أقطاب الفيفات . ولهذا المجال الدوار الثاني أهمية غير ذات بال بالنسبة للمولد نفسه . وعلى كل ، فإن لهذه لظاهرة التي تسمى « المجال الدوار » ، أهمية خاصة بالنسبة للمحرك الكهربائي . بالشكل (٢٠٦) تمثيل تخطيطي للجزء الثابت (العضو الساكن) لمحرك كهربائي ثلاثي الأطوار ، موصل بنظام ذي أربعة أسلاك . وتكون اللفيفات متباعدة بعضها عن بعض بزاوية مقدارها 120° . وعندما تشغل ترتيبة الدائرة هذه فإن المجالات المغنطيسية ذات القطبية المغنطيسية المترددة والتي تتبع دورية التردد تكون عند رؤوس الملفات .



شكل ٢٠٦ : عضو ساكن ذو ثلاثة ملفات موصل بنظام ذي أربعة أسلاك .
١ - نظام ذو أربعة أسلاك .
٢ - جسم من حديد مغنطيسي .
٣ - ملفات .



شكل ٢٠٧ : يبين هذا الشكل كيفية إنتاج مجال دوار بالحث

يبين الشكل (٢٠٧) نصف دورة لمجال دوار في مثل هذه الترتيب ، وتتبع إبرة مغناطيسية مرتكزة عند مركز العضو الساكن هذا المجال الدوار (التي تساوى سرعة دورانه حوالى ٣٠٠٠ دورة في الدقيقة ، عند تردد 50 د/ث) .

ولقد أمكن الانفعال بفوائد المجال الدوار في المحركات الكهربائية الثلاثية الأطوار اللامتزامنة . وسيناقش كل ما يتعلق بهذه المحركات الكهربائية ، الأكثر شيوعا في الاستخدام في الصناعة ، في الجزء الثاني .

القسم الثاني

تمهيد لقياسات الكميات الكهربائية

الفصل الاول

الاختبار والقياس

يُميز بين الاختبار والقياس في الهندسة الكهربائية ، كما هي الحال في مجالات الهندسة الأخرى .

يعرف الاختبار بأنه طريقة لتعيين حالة أو ظرف . ومثال لذلك ، هل هناك جهد أم لا ؟ (نعم أم لا) هل هناك قطع في الخط (نعم أم لا) ؟

وبالقياس نتأكد من قيمة كمية كهربائية . ويعبر عن كمية كهربائية بقيمة عددية مضروبة في الوحدة .

أمثلة :

الكمية	القيمة العددية	الوحدة
الجهد	٥	فلط (٥ فلط)
شدة التيار	١٢٥	أمبير (١٢٥ أمبير)
المقاومة	٢٥٠٠٠	أوم (٢٥ كيلو أوم)

عند اختبار تركيبات أو معدات كهربائية ، تعين الشروط الكهربائية أو التشغيلية . وبالقياس تعين الكميات الكهربائية ، أو يتم التأكد من قيمها .

الفصل الثانى

معدات الاختبار البسيطة وتطبيقاتها

عند القياس يميز بين :

اختبار الجهد ،

و اختبار الإستمرارية .

وعند اختبار نظام لجهد ، يفترض أنه يتعدى ٢٠ فلط ، يجب استخدام معدات اختبار صممت لهذا الغرض . وتكون معدات الاختبار التى يصنعها الفرد ، والتى تكون على هيئة دواة بها مصباح ، وأسلاك توصيل ، مصدراً للخطر .

١/٢ - اختبار الجهد بواسطة معين القطب ومبين الجهد :

(١) الاختبار بواسطة معين القطب :

يبين الشكل (٢٠٨) التمثيل التخطيطى لمبين القطب ، والذي يعرف أيضاً بمبين القطبية ، ويصلح للجهود بين ١٠٠ فلط ، ٢٥٠ فلط . وعادة يكون طرف اختباره على شكل سن مفك لى يمكن إستخدامه كأداة .

يومض المصباح المتوهج فى نطاق الجهد المعين ، إذا لمس طرف الاختبار جزء مكهرب (على سبيل المثال ، إذا لمس طرف الاختبار طرف أو ملامس مفتاح كهربائى) . بينما يلمس الشخص المختبر ملامس الإصبع . وعند جهد حوالى ١٠٠ فلط يشع المصباح المتوهج ضوءاً خافتاً نسبياً عنه عند جهد ٢٢٠ فلط .

وبجانب اختبار وجود ، أو عدم وجود جهد ، يمكن إستخدام معين القطب للتأكد من نوع الجهد إذا كان مستمراً أو متردداً ، على حسب الحالة . ويبين الشكل (٢٠٩) المصباح المتوهج عند الجهد المستمر (١) ، وعند الجهد المتردد (٢) .



شكل ٢٠٨ :
معين القطب

١ - طرف الاختبار . ٣ - مصباح متوهج .

٢ - مقاومة (حوالى من ٢ إلى ٣ ميجا أوم) . ٤ - ملامس إصبع .



شكل ٢٠٩ : إشارة من المصباح المتوهج عند أنواع مختلفة من الجهد
 ١ - إشارة في حالة التيار المستمر .
 ٢ - إشارة في حالة التيار المتردد .

فعند الجهد المستمر يشع الضوء إلكتروود واحد من المصباح المتوهج ، وفي حالة الجهد المتردد يشع الضوء الإلكتروودان بالتناوب .
 وحيث أنه لا يمكن لأعيننا تتبع الضوء أثناء تناوبه دورياً ، عند التردد المعطى ، لذا ، يظهر هذا الضوء لأعيننا منتظماً بين الإلكتروودات .

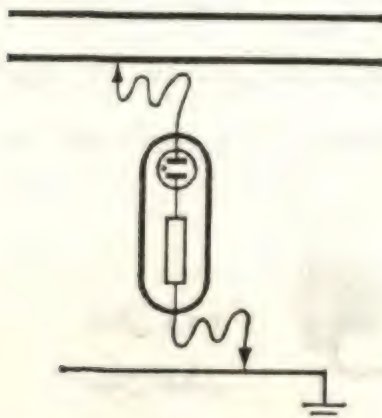
(ب) الاختبار بواسطة مبدن الجهد :

يطبق أساس تشغيل معين القطب أيضاً بالنسبة لمبدن الجهد ، مع عدم وجود ملاس إصبع ، ولكن يستخدم بدلاً منه ، طرفا اختبار معزولين ، لإختبار الشيء المراد اختباره . ويبين الشكل (٢١٠) استخدام مبدن الجهد ، في اختبار جهد بين الخطوط لمخرج مقبس . ويمكن استخدام نفس طريقة الاختبار ، للتأكد من سلامة صندوق التوصيل ، أو مفتاح كهربائي ، أو شريحة طرفية في محرك كهربائي أو لوحة مفاتيح كهربائية .

وهناك طريقة أخرى للاختبار ، وهي الاختبار بالنسبة للأرض (الشكل ٢١١) . ويصبح مثل هذا الاختبار ضرورياً لمعرفة أى خط (من عدة خطوط) يوصل الكهرباء للأرض . ومثال لذلك ، فإنه من الضروري إجراء مثل هذا الاختبار ، لمعرفة أى خط يكون موصل التعادل لتوصيلة بجهد ٢٢٠ فلت في نظام بأربعة أسلاك (لا يحدث هذا الخط عند اختبار تشغيل لمبدن الجهد) .

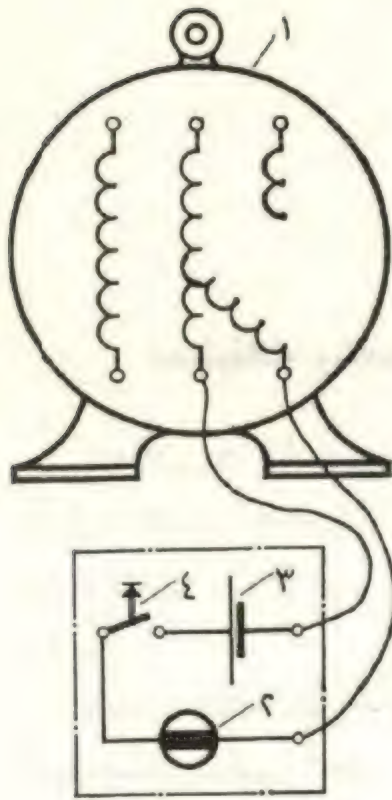
٢/٢ - اختبار الإستمرارية بواسطة معدات اختبار بسيطة :

تكون أى تركيبات كهربائية أثناء تشغيلها دائرة كهربائية مغلقة . وتفشل دائرة كهربائية أو أى معدات كهربائية في التشغيل الصحيح ، إذا كانت هناك على سبيل المثال دائرة قصر ، أو تسرب للأرض ، أو سلك مقطوع ، أو توصيلة خاطئة : أو تلامس خاطئ .

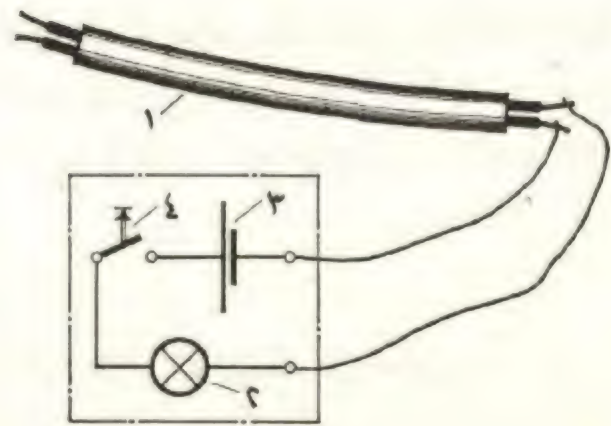


شكل ٢١١ : اختبار الخط للأرض بواسطة مبدن الجهد

شكل ٢١٠ : اختبار الخط للخط بواسطة مبدن الجهد



شكل ٢١٢ : اختبار استمرارية خط بواسطة زنان
١ - عينة اختبار . ٣ - مصدر للجهد .
٢ - زنان . ٤ - مفتاح كهربائي بذراع .



شكل ٢١٤ : اختبار قصر
اللفات لمحرك كهربائي
١ - عينة اختبار .
٢ - إشارة مرئية .
٣ - مصدر للجهد .
٤ - مفتاح كهربائي بذراع .

شكل ٢١٣ : اختبار دائرة قصر في كبل
١ - عينة اختبار . ٣ - مصدر للجهد .
٢ - مصباح متوهج . ٤ - مفتاح كهربائي بذراع .

ويمكن عادة تعقب مصاعب من هذا النوع بواسطة إختبارات الإستمرارية ، وتجري عندما تكون التركيبات أو المعدات غير مكهربة . وتتكون معدات الإختبار البسيطة من مصدر للجهد (عادة عمود جلفاني) ومبين كصباح متوهج أو إشارة مرئية أو زنان .

ويمكن اختبار أجزاء التركيبات أو المعدات التي بها مقاومات كهربائية منخفضة بواسطة مصابيح متوهجة وزنان . ويجب إختبار المعدات التي يتوقع إحتوائها على مقاومات أعلى ، بواسطة إشارات مرئية ، نظراً لأن لها دخل قدرة منخفض ، وتعمل على شدة تيار صغيرة جداً .

وتبين الأشكال من (٢١٢) إلى (٢١٤) بضع أمثلة لاختبارات الإستمرارية .

الفصل الثالث

تصنيفات وتصميمات وتطبيقات أجهزة القياس الكهربائية

لقد أشير في مجال شرح العلاقات المتبادلة بين شدة التيار ، والجهد ، والمقاومة (القسم الأول - الفصل الخامس) ، إلى الأميترات والفولطمترات ، دون التعرض لتفاصيل تصميماتها ، وطرق تشغيلها . وفيما يلي وصف لأهم أجهزة القياس المستخدمة في الهندسة الكهربائية وأدائها .

ويلعب قياس الكمية الكهربائية دوراً هاماً في الهندسة الكهربائية بالرغم من تشابه غالبية أجهزة القياس ببعضها البعض ، ومع الأخذ في الاعتبار لأساس تشغيلها ، إلا أنها تختلف في بعض الأحيان ، اختلافاً كبيراً بالنسبة لمدى القيم العددية للكميات المراد قياسها ، وبالنسبة لدقة القياسات ، ولطرق القياس .

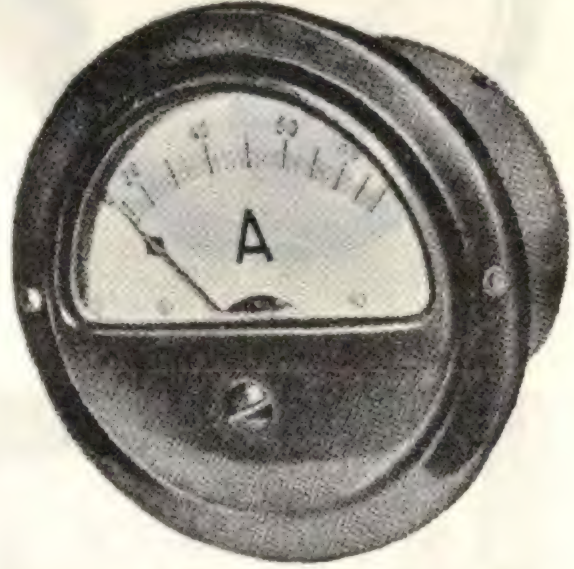
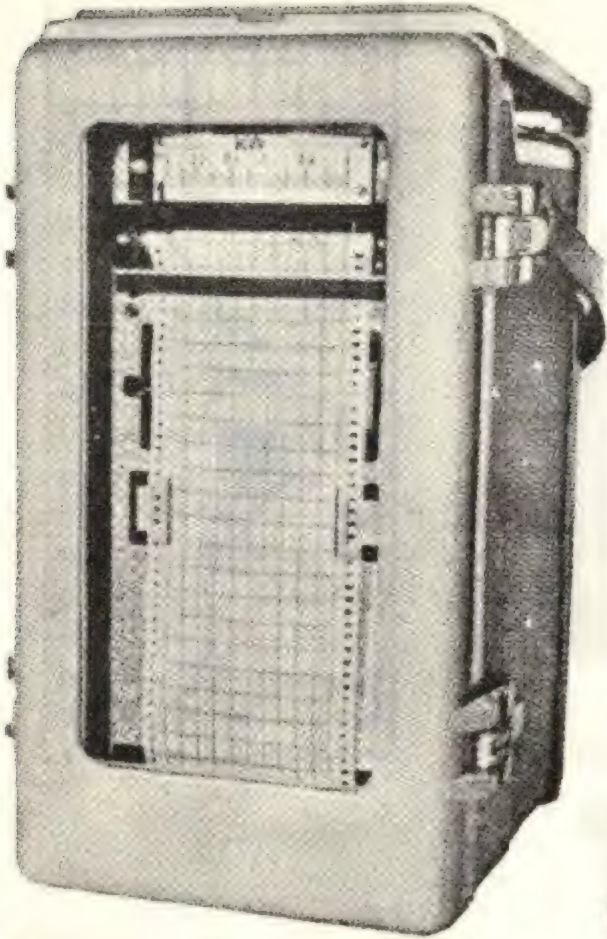
١/٣ - الكميات المراد قياسها - أجهزة القياس :

فيما يلي حصر لبضع كميات يراد قياسها ، وأجهزة القياس المناسبة للغرض المطلوب :

الكمية المراد قياسها	جهاز القياس
شدة التيار	لميتر ميزان أمبير
الجهد	فولطمتر جهاز قياس فرق الجهد المطلق
المقاومة	أومتر بملف متقاطع ، قنطرة قياس مقاومة .
التردد	جهاز قياس التردد بريشة
القدرة	واطمتر

٢/٣ - تصميم ودقة قياسات أجهزة القياس :

يراعى عند طلب أجهزة القياس ، أن يكون هذا الطلب محدداً بدقة بقدر الإمكان (وبغض النظر عن الكميات المراد قياسها) . كما تطلب أجهزة القياس ذات التطبيق الواسع المدى . وقد وضعت تصميمات متعددة لأجهزة القياس ، في مراحل تطویرها .



شكل ٢١٥ : جهاز بيان كهربائي
(VEB Elektro Apparate- Werk
Berlin-Treptow G D R)

شكل ٢١٦ : جهاز مسجل

وفيما يلي وصف لأكثر هذه الأجهزة شيوعاً
في الإستخدام :

أجهزة بيان كهربائية :

وتبين القيمة للكمية المراد قياسها بواسطة مؤشر ينحرف على تدريج (الشكل ٢١٥) .

أجهزة مسجلة كهربائية :

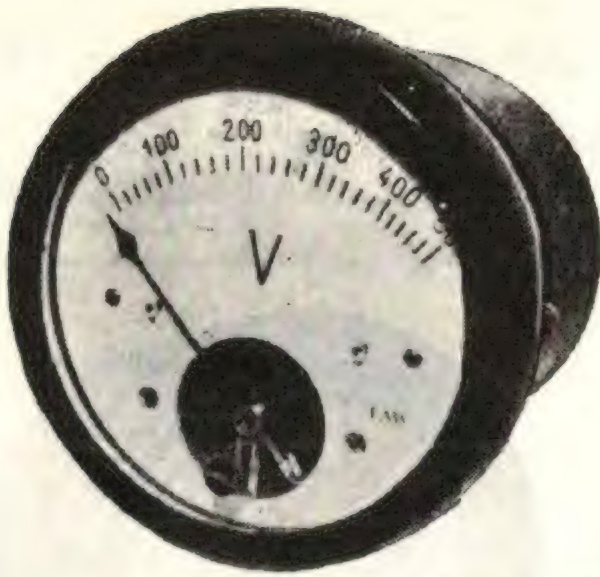
وتسجل نبیطة تسجيل ، تناظر حركتها إنحراف مؤشر ، القيمة المقاسة للكمية المراد قياسها ،

على شريط من الورق ، يتحرك بسرعة ثابتة (الشكل ٢١٦ و الشكل ٢١٧) .

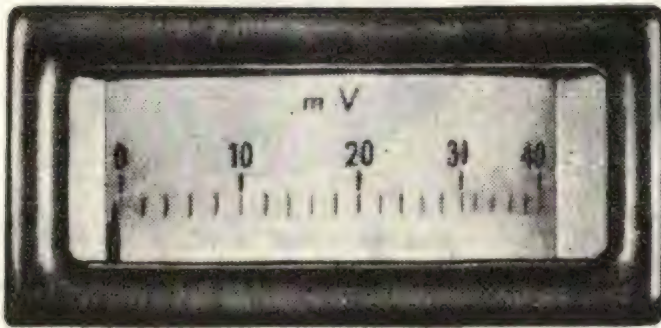
أجهزة لوحات التشغيل الكهربائية :

تصمم هذه الأجهزة للتركيب في خلايا لوحات التشغيل الكهربائية وللاستخدام الثابت .

ولأجهزة القياس ذات التصميم القديم منها شكل مستدير عادة ، بينما يكون للأجهزة الحديثة منها شكل مستطيل أو مربع (الشكل ٢١٨) .



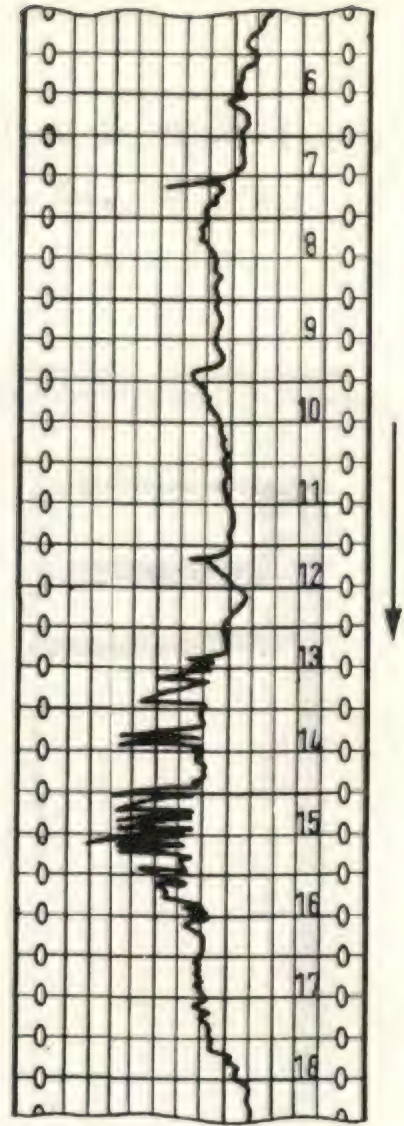
الشكل : ١/٢١٨



الشكل : ٢/٢١٨



الشكل : ٣/٢١٨



شكل ٢١٧ : رسم بياني لسجل قدرة
(الأرقام تبين الزمن)

شكل ٢١٨ :

أجهزة لوحات التشغيل الكهربائية

١ - شكل مستدير .

٢ - شكل مستطيل .

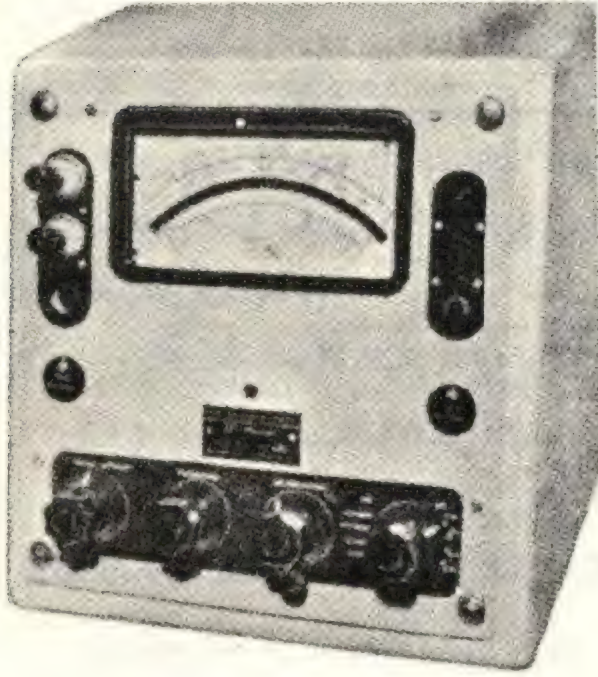
٣ - شكل مربع .

أجهزة نقل كهر بائية :

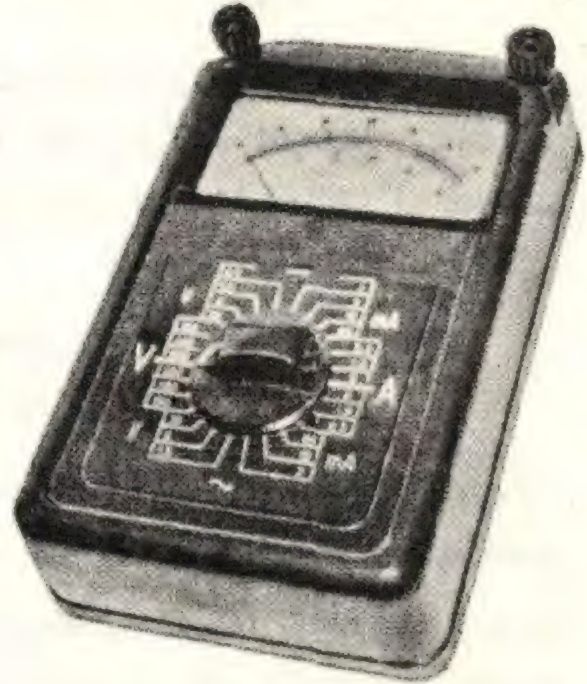
وتستخدم في التركيبات الكهر بائية وأغراض الإصلاح . وهناك عدة تصميمات لأجهزة القياس النقلى ، مناسبة لقياس عدة كميات (أجهزة قياس متعددة الغرض) (الشكل ٢١٩) .

أجهزة قياس كهر بائية معملية :

ويجب أن تفى باحتياجات الطلبات الدقيقة ، من حيث دقة القياس ، ودقة القراءة . وعادة ، تكون تداريج مثل هذه الأجهزة مركبة على مرايا . وتكون أجهزة القياس المعملية من النوع النقلى . (الشكل ٢٢٠) .



شكل ٢٢٠ : أجهزة قياس معملية



شكل ٢١٩ : جهاز نقل

(١) دقة القياس :

يميز بين الأجهزة الدقيقة والأجهزة الصناعية (التجارية) ، كما تصنف هذه الأجهزة طبقاً لحدود الخطأ . ويعبر عن حدود الخطأ على المدى الفعال بنسبة مئوية من مدى التدرج . وقد قسمت الأجهزة إلى مجموعات تبعاً لهذه القيم المسموح بها .

٥	٢,٥	١,٥	١	٠,٥	٠,٢	٠,١	درجة الدقة
---	-----	-----	---	-----	-----	-----	------------

٥	٢,٥	١,٥	١	٠,٥	٠,٢	٠,١	التأثير على النتيجة (فى المائة)
أجهزة صناعية (تجارية)				أجهزة دقيقة			

ويبين تأثير درجة دقة جهاز القياس على النتائج بالمثل التالى :

مثال :

ما حد الخطأ معبراً عنه في المائة لفلطمتر ، درجة دقته ٢,٥ ، وله مدى تدريج ١٠٠ فلط ؟

الجهد (بالفلط)	الإنحراف (بالفلط)	حدود الخطأ (نسبة مئوية)
١٠٠	$\pm 2,5$	٢,٥٠
٨٠	$\pm 2,5$	٣,١٢
٦٠	$\pm 2,5$	٤,١٦
٤٠	$\pm 2,5$	٦,٢٥
٢٠	$\pm 2,5$	١٢,٥٠
١٠	$\pm 2,5$	٢٥,٠٠

وتؤدي هذه الأجهزة إلى إنحرافات تؤخذ في الاعتبار في المدى المنخفض ، ولهذا السبب يجب استخدام المدى العلوى فقط للجهاز في القياس . ويجب تجنب قياسات الجهد في المثال المعطى عاليه للقيم أقل من ٨٠ فلط .

٣/٣ - آليات الحركة لقياس الجهد وشدة التيار :

(١) ملاحظات عامة على شكل آلية الحركة لأجهزة القياس :

تبنى آليات الحركة ، الأكثر شيوعاً في الإستخدام ، على أساس المغنطيسية الكهربائية . وتبذل المجالات المغنطيسية قوة على جسم متحرك، يكون تحركه (إنحرافه) هو قياس للكمية المراد قياسها . وتستخدم قلة من أجهزة القياس القوى الموجودة بين الشحنات الكهربائية الإستاتيكية (مثال لذلك جهاز قياس فرق الجهد الكهربائي المطلق، المبين وصفه بالقسم الأول - الفصل الثالث) . ونادراً ما يستخدم التأثير الحرارى للتيار الكهربائي في أغراض القياس . وفي هذه الأجهزة تكون إستطالة معدن معرض للحرارة هي القياس للكمية المراد قياسها .

(ب) أجهزة القياس بحديدة متحركة :

تبنى آليات حركة أجهزة القياس هذه على حركة ملفات مفلطحة ، أو ملفات مستديرة .

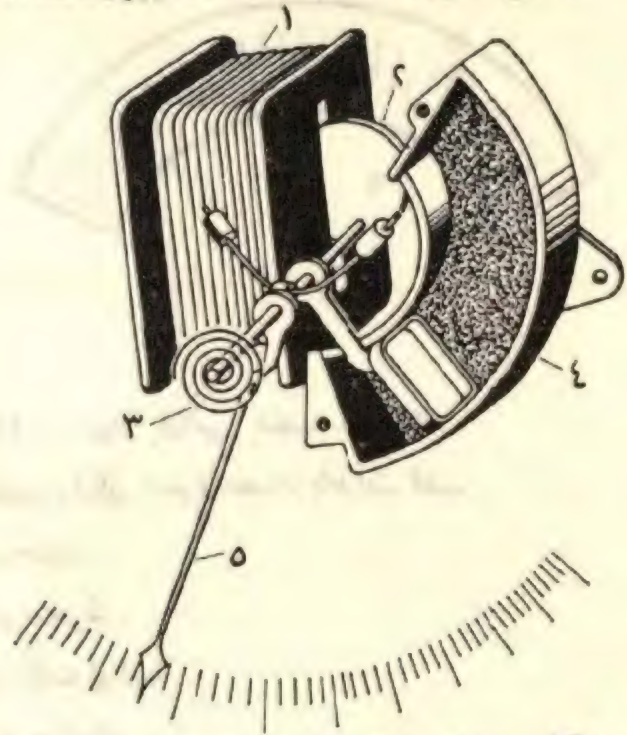
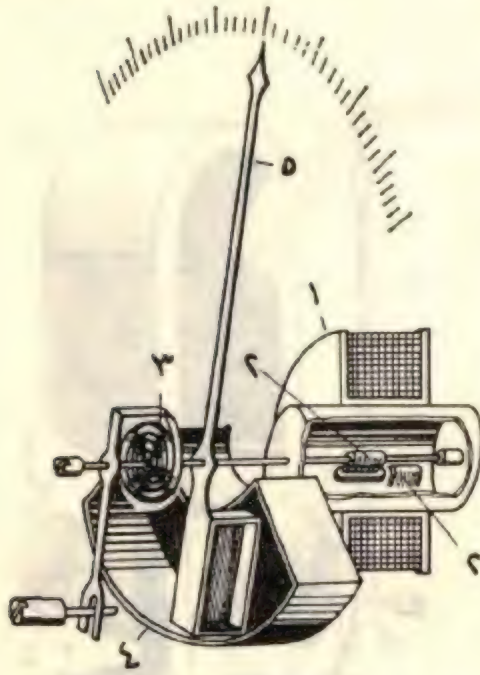
آليات حركة الملفات المفلطحة :

بالشكل (٢٢١) تصميم لآلية حركة ملفات مفلطحة . يلف ملف بطريقة ما، بحيث تكون لفتحته شكل الشق . يوضع لوح صغير من الحديد أمام هذا الشق بحيث يكون حر الدوران ، وبحيث يكون مزوداً بمؤشر ، وبزنبرك لوابي للحركة المرتجعة . توصل نبيطة مضادة مع لوح الحديد الصغير ، لضمان تحريك المؤشر بنعومة . ويستخدم في هذه الحالة نظام مضادة هوائى . وعندما يمر تيار عبر الملف المفلطح ، يسحب اللوح الحديد داخل شق الملف إلى مدى معين .

ويأجرا قياسات مقارنة ، يقسم التدريج بحيث تكون المسافة التي يقطعها لوح الحديد متناسبة مع شدة التيار أو الجهد .

آليات حركة الملفات المستديرة :

بالشكل ٢٢٢ تصميم آلية حركة ملف مستدير . وتميز عن آلية حركة الملف المفلطح في شكلها وباستخدامها للتناظر المغنطيسي . فيوجد لوح حديدى صغير ثابت وآخر متحرك في الحيز الداخلى الكروى لصندوق الملف ، ويزود هذا الأخير بمؤشر وزنبرك لولابى وبنظام مضاءة هوائى .



شكل ٢٢٢ : جهاز قياس بحديدية متحركة
بملف مستدير
١ - ملف مستدير .
٢ - لوح حديد صغير .
٣ - زنبرك لولابى .
٤ - نظام مضاءة هوائى .
٥ - مؤشر يتحرك على تدريج .

شكل ٢٢١ : جهاز قياس بحديدية
متحركة بملف مفلطح
١ - ملف مفلطح .
٢ - لوح حديد صغير .
٣ - زنبرك لولابى .
٤ - نظام مضاءة هوائى .
٥ - مؤشر يتحرك على تدريج .

عندما يمر تيار خلف الملف يتمغنط اللوحان الصغيران بفيض من نفس الاتجاه بحيث يتنافران مع بعضهما البعض ، وهذا بسبب إنحراف المؤشر .

تطبيقات أجهزة القياس بحديدية متحركة :

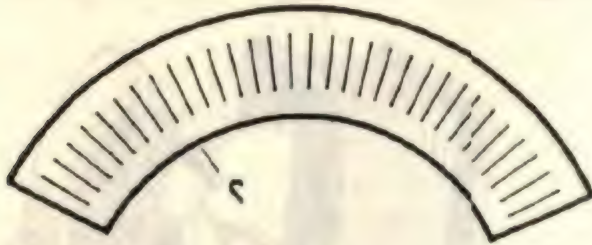
تكون آليات الحركة هذه مناسبة للتيار والجهد المستمر ، والتيار والجهد المتردد . ويكون لأجهزة القياس بحديدية متحركة ذات التصميمات القديمة أقسام تدريج لوغاريتمية (الشكل ٢٢٣ - ١) ، بينما تكون أجهزة القياس الحديثة منها مزودة بأقسام تدريج خطية (الشكل ٢٢٣ - ٢) .

ويمكن الحصول على تدريج خطى بتشكيل خاص للوح الحديد حيث أن عزم اللى يتناسب مع مربع شدة التيار .

شكل ٢٢٣ : أقسام التدريج

١ - قسم مربع .

٢ - قسم خطى .



شكل ٢٢٤ : جهاز قياس بملف متحرك

١ - مغنطيس بشكل حدوة حصان بأطراف قطب .

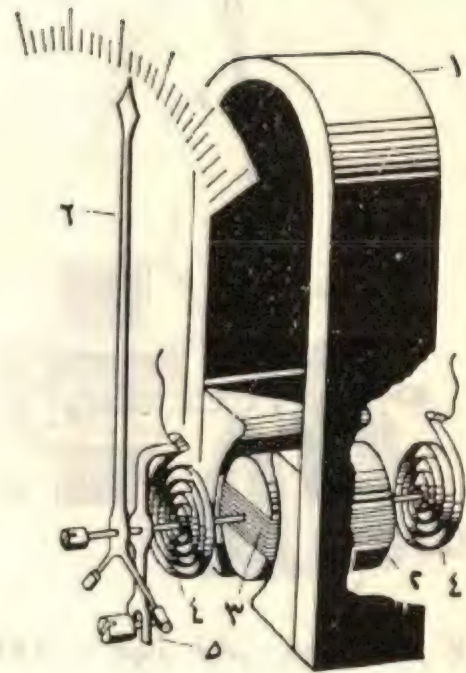
٢ - قلب حديد .

٣ - ملف متحرك .

٤ - زنبركات لولبية .

٥ - تصحيح الصفر .

٦ - مؤشر يتحرك على تدريج .



وتكون القدرة التى تتطلبها آلية التحرك هذه عالية نسبيا ، ولهذا السبب لا يمكن استخدامها لقياس جهود وشدة تيارات منخفضة للغاية ، علاوة على أن آليات الحركة هذه يتوقف عملها على التردد ، وهذا يعنى أن مقاومتها تتغير بتغير التردد ، لهذا السبب فإن أغلب استخدامات أجهزة القياس بحديدية متحركة ينحصر فى دوائر التيار المتردد (تردد ٥٠ هز) . وهذه الأجهزة غير مناسبة للقياسات عند مدى الترددات العالية .

(ج) أجهزة القياس بملف متحرك :

يبين الشكل ٢٢٤ تصميمًا لجهاز قياس بملف متحرك . يوضع قلب حديد مستدير فى نطاق مجال حدوة حصان مغنطيسى دائم ، تزود نهايتها بأطراف أقطاب ، وتكون لشفرة الهواء بين أطراف القطب والقلب الحديدى ما يسمى بالمجال المغنطيسى المتجانس فى إتجاه نصف القطر . يركب فى ثغرة الهواء هذه ملف ملفوف على قاعدة من معدن خفيف الوزن ويزود محور هذا الملف بمؤشر .

يفغذى التيار خلال زنبركين لولبيين لهما لفات ملفوفة باتجاه عكسى ، ويمكن بواسطة هذين الزنبركين ضبط وضع الصفر .

وعندما يسرى تيار مستمر فى الملف ، ينتج عزم لى يتوقف إتجاهه على إتجاه التيار ، حيث أن قطبية المغنطيس تبقى كما هى دون تغير . وإذا كان الصفر ، على سبيل المثال ، على الجانب الأيسر للتدرج ، تتلف آلية الحركة عند تعريضها لحمل ذى إتجاه تيار خاطئ ، ولفترة طويلة .

تطبيقات أجهزة القياس بملف متحرك :

يكون أساس عمل أجهزة القياس بملف متحرك بحيث تكون هذه الأجهزة مناسبة فقط للتيارات والجهود المستمرة ، وحيث أن آليات الحركة هذه تكون عالية الحساسية الكهربائية ، بحيث تكون متطلبات قدراتها منخفضة للغاية (حوالى ٠,٠٠١ مللى أمبير عند انحراف كامل على التدرج) ، فتستخدم أجهزة القياس بملف متحرك أيضا للتيار المتردد ، ويتحقق هذا بمساعدة مقومات أجهزة . تحول هذه النبائط التيار المتردد إلى تيار مستمر ، وسنناقش كيفية تشغيلها فيما بعد بهذا القسم .

وحيث أن المجال المغنطيسى لجهاز القياس بملف متحرك يكون ثابتا ، لذا يتوقف عزم اللى تماما على شدة التيار للملف المتحرك ، ويتناسب عزم اللى مع شدة التيار ، ولهذا السبب تزود أجهزة القياس هذه بأقسام خطية للتدرج .

وتستخدم عادة الملفات المتحركة فى أجهزة القياس الدقيقة ، كما تستخدم فيها عدة مضاعفة التيار الدوامى . وتضاد المجالات المغنطيسية الدوارة التى تتكون فى قاعدة الملف المعدنية الخفيفة الوزن الحركة الدوارة للملف .

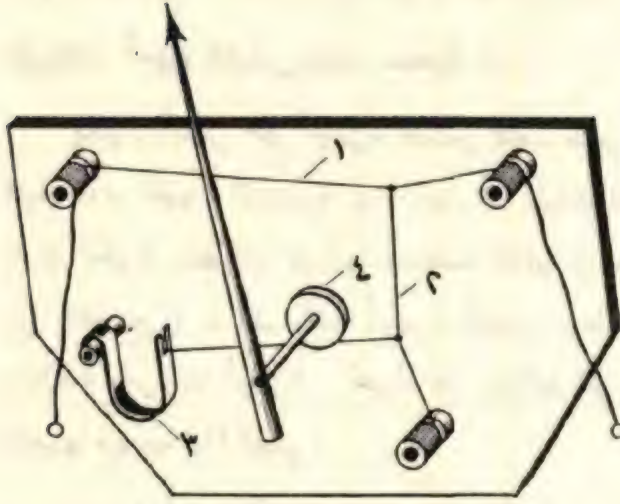
(د) أجهزة القياس بسلك ساخن :

يبين الشكل ٢٢٥ التصميم الأساسى لجهاز قياس بسلك ساخن . يمر تيار خلال سلك تسخين من سبيكة خاصة ، فيتمدد هذا السلك بالتسخين . ويتحرك سلك توتر موضوع بين زنبرك توتر وسلك التسخين ، وذلك نتيجة لتمدد السلك الأخير (يستطيل سلك التسخين ، بينما ينكمش الزنبرك) . وتنقل حركة سلك التوتر إلى بكرة مزودة بمؤشر .

تطبيقات أجهزة القياس بسلك ساخن :

هذه الأجهزة مناسبة للجهود المستمرة والتيار المستمر ، وكذلك للجهود المتردد والتيار المتردد . وغالبا تكون متطلبات القدرة لأجهزة القياس هذه عالية نسبيا ، وهذا يعنى أنه يمكن إستخدامها فقط عند قياس تيارات وجهود عالية . ومن مضار هذا النوع من أجهزة القياس توليد كمية كبيرة نسبيا من الحرارة (حوالى ٣٠٠ م°) ، إلى جانب الحساسية الشديدة للتحميل . إلا أن لآلية الحركة هذه فائدة عدم الإعتماد على التردد .

وحيث أن الحرارة المتولدة تتناسب مع مربع شدة التيار ، اذا يزود جهاز القياس هذا بأقسام تدريج لوغاريتمية .



شكل ٢٢٥ : تمثيل تخطيطي لجهاز قياس بسلك ساخن

- ١ - سلك تسخين .
- ٢ - سلك توتر .
- ٣ - زنبرك توتر .
- ٤ - بكرة بمؤشر .

وأحيانا تزود أجهزة القياس بسلك ساخن بأنظمة مضادة للتيار الدوامي . وقد أصبحت هذه الأجهزة ، في يومنا هذا ، غير شائعة الاستخدام .

(هـ) أجهزة القياس الإستاتيكية الكهربائية :

سبق وصف الإلكتروسكوب (المكشاف الكهربائي) . وجهاز قياس فرق الجهد في مجال الحديث عن الشحنات الإستاتيكية الكهربائية (القسم الأول - الفصل الثالث) . وهذا وصف لآلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية من نوع اللوح ، وآلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية الاسطوانية .

آلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية من نوع اللوح :

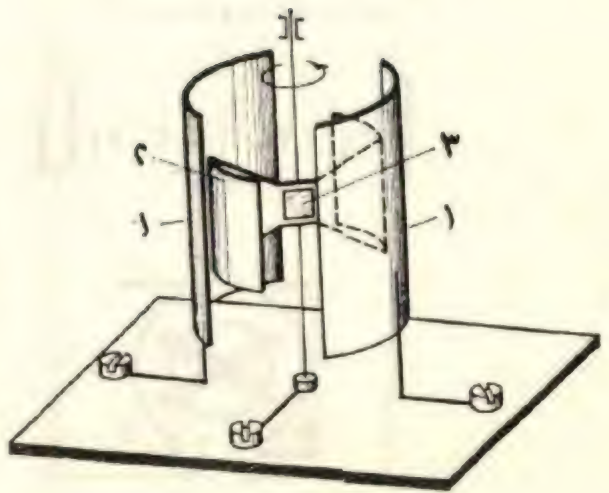
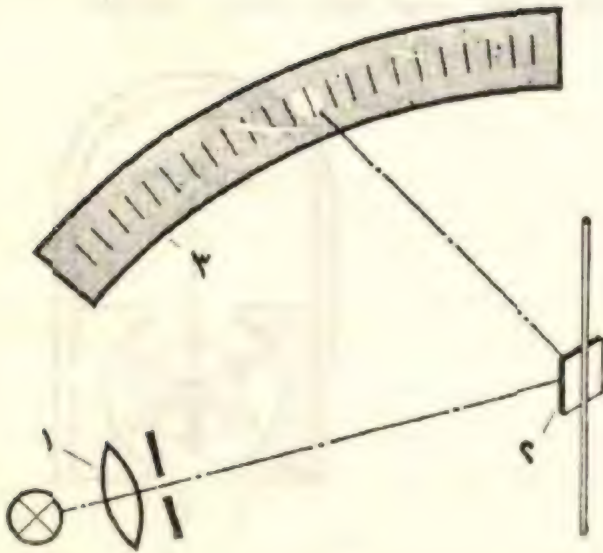
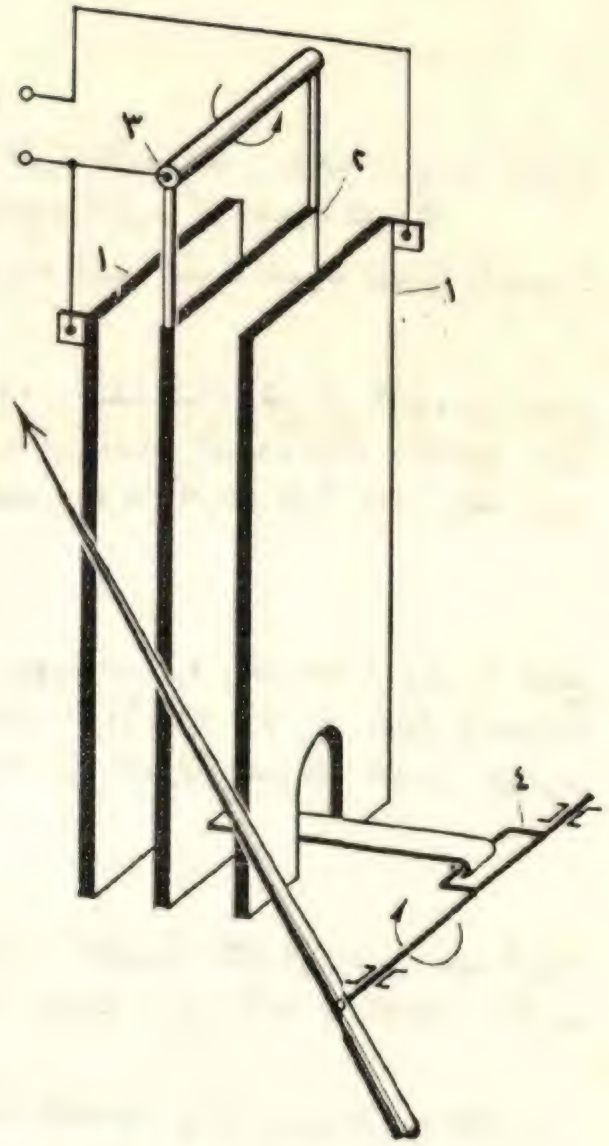
يبين الشكل (٢٢٦) التصميم الأساسي لآلية حركة من نوع اللوح . يوضع بين لوحين معدنيين ثابتين لوح ثالث ، بحيث يكون حر الحركة ومتراكبا على سطحى اللوحين الثابتين .

تنتقل الحركة من ذراع رافعة إلى محور موصل بمؤشر (في غالبية التصميمات يركب على المحور قطاع مستدير من سبيكة خفيفة الوزن ويسمح له بالمرور عبر مغنطيس لأغراض المضادة) .

فإذا سلط جهد على الألواح الثابتة ينحرف اللوح المتحرك وتنتقل الحركة الناتجة عندئذ إلى المؤشر .

شكل ٢٢٦ : آلية حركة استاتيكية كهربائية

- من نوع اللوح
١ - ألواح ثابتة .
٢ - لوح متحرك .
٣ - نقطة ارتكاز اللوح المتحرك .
٤ - ذراع الرافعة والمحور والمؤشر .



شكل ٢٢٨ : المؤشر المضى لأجهزة القياس

- ١ - مصدر ضوء وعدسة .
٢ - مرآة .
٣ - تدريج .

شكل ٢٢٧ : آلية حركة استاتيكية كهربائية

اسطوانية

- ١ - ألواح ثابتة .
٢ - قرنية الألواح المتحركة .
٣ - مرآة .
٤ - تدريج .

آلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية الأسطوانية :

يبين الشكل ٢٢٧ التصميم الأساسى لآلية الحركة الأسطوانية . يوضع زوج من الألواح المستديرة المتحركة تبين ألواح مواسع مستدير وتوضع مرآة فى مركز المجموعة المتحركة . تستخدم هذه المرآة للبيان بواسطة الضوء . وهذه الكيفية تكون المجموعة المتحركة ذات وزن أخف منها عندما تكون بمؤشر ميكانيكى .

وتوضح نظرية البيان بالضوء فى الشكل ٢٢٨ . يسقط شعاع رفيع من الضوء من مصباح متوهج ، على المرآة عبر عدسة . وتكون الزاوية بين مصدر الضوء والمرآة والتدريج بحيث تظهر بقعة ضوئية على علامة على التدريج عند الصفر . وإذا انحرفت المرآة تتحرك بقعة الضوء على التدريج تبعاً لذلك .

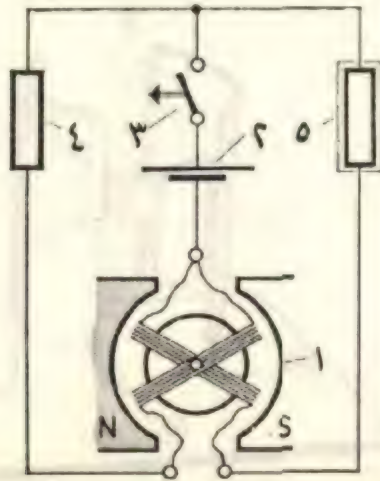
تطبيقات أجهزة القياس الإستاتيكية الكهربائية :

هذه الأجهزة مناسبة فقط ، لقياس كل الجهود المسنرة والمترددة ، وهى لا تصلح للإستخدام فى قياسات الجهد المنخفض . وتستخدم هذه الأجهزة أولاً فى معامل وحجرات إختبار الجهود العالية . وحيث أن القوة المسلطة على المجموعة المتحركة تتناسب مع مربع الجهد ، فإن التدريج يزود بأقسام لوغاريتمية .

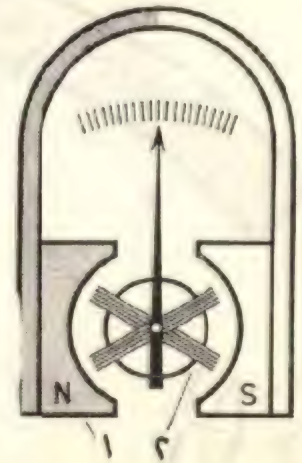
٤/٣ - آليات الحركة لقياس المقاومة :

تشبه آلية الحركة التى تشتمل عليها أجهزة قياس المقاومات تلك التى تشتمل عليها أجهزة القياس بجديدة متحركة ، وأجهزة القياس بملف متحرك ، مع الأخذ فى الاعتبار الأسس المغنطيسية الكهربائية التى تحكم حركة هذه الأجهزة .

وفى ما بعد وصف لجهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة ، وكذا وصف لقنطرة المقاومة .



شكل ٢٢٠ : رسم تخطيطى لدائرة جهاز قياس المقاومة بملف متقاطع
١ - منظر قطاع لآلية الحركة .
٢ - مصدر الجهد .
٣ - مفتاح كهربائى بذراع .
٤ - مقاوم مقارنة م .
٥ - الشئ المراد قياسه (مقاومة غير معروفة) .



شكل ٢٢٩ أساس تشغيل جهاز قياس المقاومة بالملف المتقاطع
١ - مغنطيس دائم بأقطاب على هيئة حدوة حصان .
٢ - ملف متقاطع .

(١) جهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة :

بالشكل ٢٢٩ تمثيل تخطيطى لجهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة ، ويشبه التصميم العام له تماما ذلك الخاص بجهاز القياس بملف متحرك . وهو يختلف عن تصميم جهاز القياس بحديدة متحركة . ويتكون هذا الجهاز من لفيفتين منفصلتين ، موضوعتين بزاوية معينة بالنسبة لبعضهما البعض . وعادة تلف اللفيفتان على إطار ملف واحد مشترك . ولا يثبت فى الملف المتحرك زنبرك لولبي ، لعدم ضرورة وجود قوة لإعادة الضبط . يغذى التيار خلال موصلات على هيئة خوص لينة (وتكون عادة خوصا من الذهب) .

يبين الشكل ٢٣٠ رسما تخطيطيا لدائرة جهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة ، موضحا طريقة تشغيل هذا الجهاز . يوصل أحد طرفي كل لفيفة مع طرف الأخرى . ويؤدي هذا التوصيل إلى تلامسها مع مصدر الجهد . بينما تمر الوصلتان الأخريان خلال المقاومين (٤ ، ٥) ، والمفتاح الكهربائي بذراع ، إلى مصدر الجهد . بهذا تكون اللفيفتان موصلتين على التوازي . إلى جانب هذا فإنهما تنتجان عزوم لى متضادة فى الاتجاه . وعندما يمر تيار خلال ترتيبية الدائرة الكهربائية هذه (بتشغيل المفتاح الكهربائي بذراع) ، ينتج عزوم لى (يكون إتجاه أحدهما لى إتجاه دوران عقارب الساعة ، ويكون إتجاه الآخر فى عكس إتجاه دوران عقارب الساعة) . وإذا كانت المقاومتان متساويتين ($M = M$) ، لا ينحرف المؤشر ، حيث أن التيارين المارين عبر الملفات يكون لهما نفس الشدة ويؤديان إلى تكوين عزوم لى فى إتجاه عكسي ، ولكن بنفس القوة .

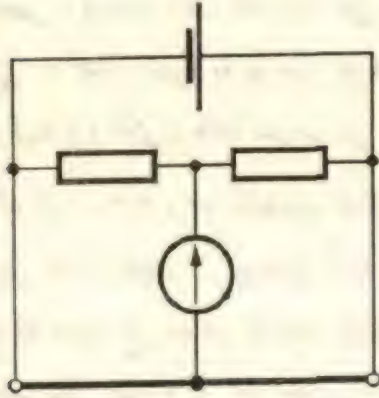
توصل آلية الحركة بحيث ينحرف المؤشر إذا كان لتيار المار خلال M (المقاومة المراد قياسها) له قيمة أعلى ، وهذا يمكن من تقسيم التدرج بالأوم ، بحيث تعطى القراءة بالأوم ، وتكون القياسات بواسطة هذا الجهاز صحيحة فقط فى مدى صغير للقياس .

(ب) قنطرة القياس :

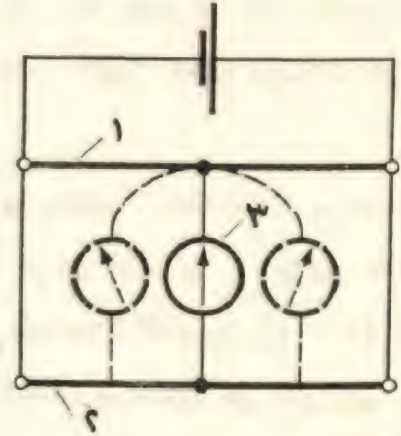
تصلح قناطر القياس التى تعرف أيضا بقناطر المقارنة للقياسات عالية الدقة ، ويستخدم فيها ملف متحرك بدور فى أى إتجاه كآلية حركة . يبين الشكل ٢٣١ أساس تشغيل قنطرة القياس . ويوصل سلكان لهما نفس المقاومة على التوازي بمصدر الجهد . وإذا وصل جهاز القياس بحيث يحدث تلامسا فى المركز ، بين سلكى المقاومة تماما ، فإنه لا يسرى تيار . وإذا تغيرت التوصيلات بالكيفية المبينة بالخطوط المتقطعة فى الشكل ٢٣١ ، يسرى تيار فى جهاز القياس . ويمكن ترتيب الدائرة الكهربائية أيضا بالكيفية المبينة فى الشكل ٢٣٢ .

وعلى كل حال ، فسوف لا يمر تيار خلال جهاز اقياس الموصل بهذه الكيفية إذا كانت للمقاومات وأسلاك المقاومة القيم المناظرة ، ويمر تيار فى جهاز القياس فقط إذا كانت

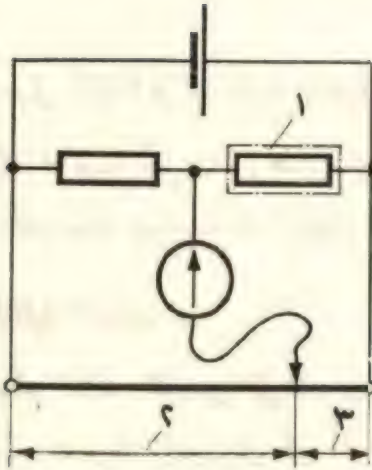
القنطرة غير متزنة ، ويحدث ذلك عندما فستبدل باحدى المقاومتين مقاومة مختلفة . وعند استخدام توصيلة واحدة لجهاز لقياس كمجس لاختبار سلك المقاومة على مدى طوله ، توجد نقطة على سلك المقاومة (في نطاق مدى معين من قيمة المقاومة الجديدة استبدلة) ، حيث يقطع عندها التيار المار في السلك (الشكل ٢٣٢) .



شكل ٢٣٢ : قنطرة قياس بمقاومتين جزئيتين وسلك مناوم واحد

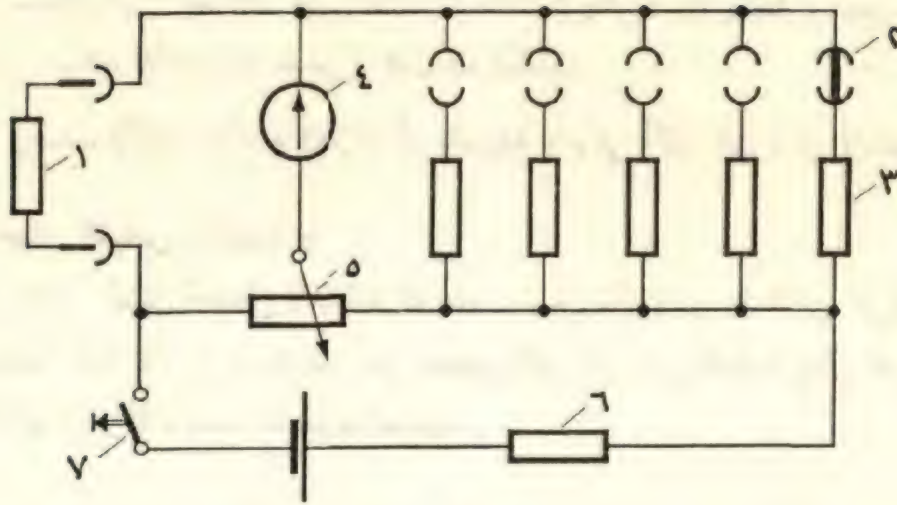


شكل ٢٣١ : أساس قنطرة القياس
١ - سلك مقاوم .
٢ - نفس السلك المقاوم مثل ١ .
٣ - جهاز قياس .



شكل ٢٣٣ : قنطرة قياس بمقاومة مجهولة
١ - مقاومة مجهولة القيمة .
٢ - طول ١ من سلك المقاومة .
٣ - طول ٢ من سلك المقاومة .

في الدائرة المبينة في الشكل ٢٣٢ ، يوصل طرف واحد من جهاز القياس بمركز سلك المقاومة بحيث ينصفه تماما إلى طولين متساويين . في الشكل ٢٣٣ يكون طولاً سلك المقاومة غير متساويين ، لضمان إتزان القنطرة كهربائيا ، فإذا عرفت قيمة مقاومة جزئية واحدة ، أمكن تعيين قيمة المقاومة المجهولة ، من نسبة الأطوال والمقاومة المعروفة .

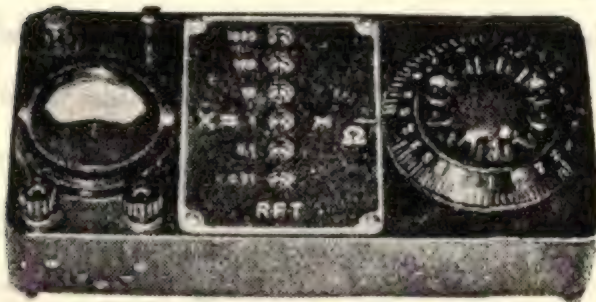


شكل ٢٣٤ : رسم تخطيطي لدائرة قنطرة القياس بأكثر من مدى للقياس

- ١ - المقاومة المطلوب قياسها .
- ٢ - ملامسات إصبع .
- ٣ - مقاومة قياس .
- ٤ - جهاز قياس .
- ٥ - مقاوم متغير .
- ٦ - مقاوم واثق .
- ٧ - مفتاح كهربائي بذراع .

وفي قناطر القياس الصناعية ، يكون لسلك المقاومة شكل ريوستات (مقاومة متغيرة) ، يزود زر إدارته برقم . وعند توصيل المقاوم مع المقاومة المجهولة بالقنطرة ، يضبط الريوستات بحيث يبين جهاز القياس القراءة صفر . وبمطابق الرقم على زر الإدارة للمقاوم الدوار ، مع علامة على الصندوق الذي يحتوي عليه تبين قيمة المقاومة المراد قياسها .

وعادة تصمم قناطر القياس من هذا النوع للتشغيل على أكثر من مدى للقياس وينتخب مدى القياس بواسطة إصبع . بالشكل ٢٣٤ رسم تخطيطي ، لدائرة قنطرة قياس ، بمدى متعدد للقياس . ويبين الشكل ٢٣٥ التصميم التجاري لقنطرة قياس صغيرة تستخدم في الورش .



شكل ٢٣٥ : قنطرة قياس بمقاوم

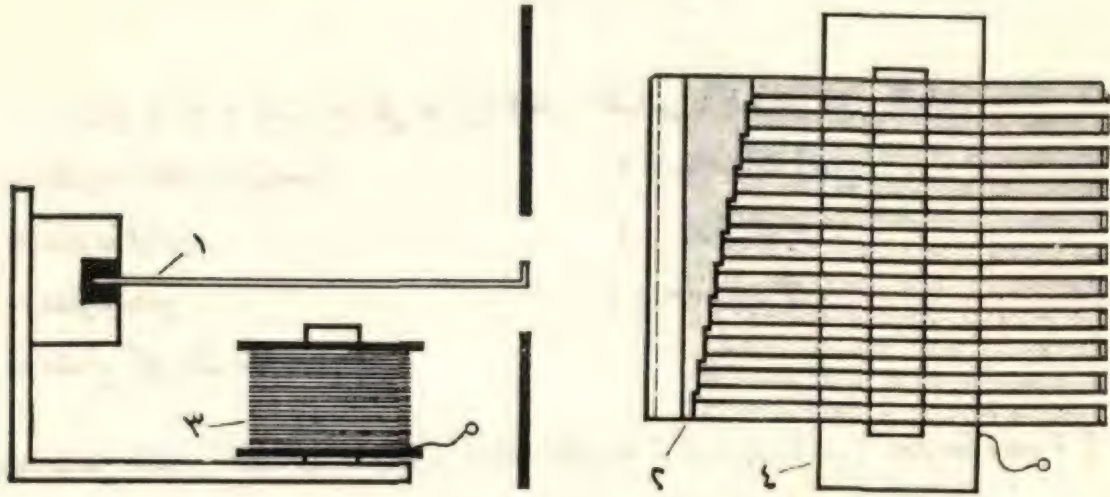
٥٣ - آليات الحركة لقياس الترددات :

تقاس الترددات ، بمساعدة أجهزة متعددة ، وعلى أساس طرق مختلفة . وفي مدى التردد المنخفض ، تستخدم أولا عدادات قياس الترددات ذات الرياش ، بينما يفضل في مدى التردد العالي إستخدام قطرة . وهذه الأخيرة لا تدخل في مجال هذا الكتاب .

وفيما يلي وصف لآلية الحركة بالإهتزاز أو بالريشة ، وهي أكثر شيوعا في الإستخدام .

(١) جهاز القياس بالريشة :

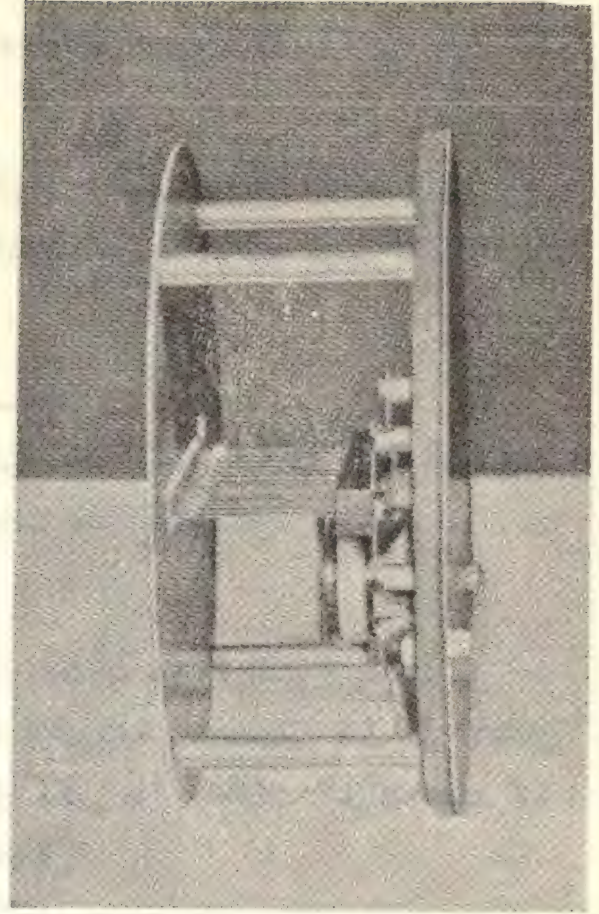
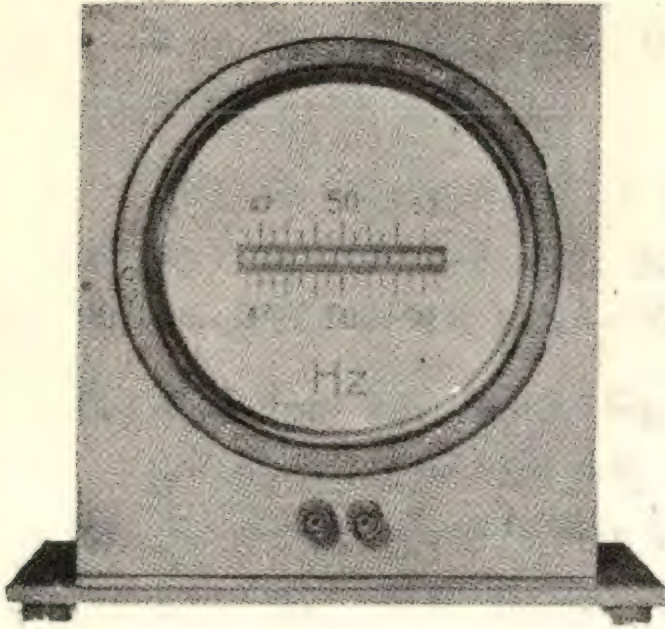
بالشكل ٢٣٦ تمثيل تخطيطي لآلية الحركة هذه . وهي مكونة من سلسلة من الريش الصلب (يكون عددها عادة ١١) ، وترتب أعلى مغنطيس كهربائي ، ويكون للرياش الصلب أطوال مختلفة ، كما تكون متزنة بالنسبة لتذبذباتها الطبيعية .



شكل ٢٣٦ : رسم هيكلي لجهاز قياس التردد بريشة

- | | |
|----------------------|------------------------------------|
| ١ - ريش صلب . | ٢ - مسقط علوي لرياش الصلب . |
| ٣ - مغنطيس كهربائي . | ٤ - مسقط علوي للمغنطيس الكهربائي . |

إذا ضبطت الرياش الصلب على مدى قياس معين . فإن هذه الرياش ، والتي يكون تذبذبها الطبيعي ضعف تذبذب التردد في المغنطيس الكهربائي ، تستجيب للتذبذبات القوية . وهذا يعني أنه إذا سلط تيار متردد بتردد ٥٠ هز على المغنطيس الكهربائي ، فإن الريشة المضبوطة على ١٠٠ تذبذب تهتز بقوة، والريشة المواجهة تتذبذب تذبذبا ضئيلا جدا، أو تفشل في الحركة تماما . والشكل (٢٣٧ - ١) يبين المسقط الأمامي لجهاز قياس التردد بريشة . والشكل (٢٣٧ - ٢) ، يبين المسقط الجانبي له .



شكل ٢٣٧ : جهاز قياس التردد بريشة

١ - مسقط أمامي .

٢ - مسقط جانبي .

(ب) تطبيقات جهاز قياس التردد بالريشة :

يستخدم هذا الجهاز أولا للتأكد من ترددات المآخذ الرئيسية للتيار المتردد . ولهذا الأجهزة أهمية خاصة بالنسبة للقياسات التي تجرى على المولدات التي تعمل على التوازي .

٦/٣ - آليات الحركة لقياسات القدرة :

يمكن قياس قدرة نظام (في حالة التيار المستمر \times ن ، وفي حالة التيار المتردد ج \times ت \times جيب تمام Φ) ، مباشرة بواسطة آليات حركة ديناميكية كهربائية . ولهذا الغرض تكون أجهزة القياس الديناميكية الكهربائية اللا حديدية وذات القلب الحديد مناسبة خصيصا لذلك . وفيما يلي وصف لآلية حركة ديناميكية كهربائية لا حديدية .

(١) آلية الحركة الديناميكية الكهربائية :

يبين الشكل (٢٣٨) تصميم آلية حركة تشبه تلك الخاصة بجهاز القياس بالملف المستدير تقريبا . يحتوي الملف المستدير على ملف متحرك ، توصل نهايته بزنبركات لولبية مرتبة خارج الملف المستدير . وعلاوة على ذلك صممت الزنبركات اللولبية لإحتجاز الملف المتحرك

في حالة عدم وجود تيار عمودي على المحور المركزي للملف المستدير . ويركب على محور الملف المتحرك مؤشر ، ونظام مضادة هوائى .

وإذا وصلت الملفات على التوازي ، أو على التوالى ، أو لم توصل ، فذلك ليس بذى بال . وعلى كل ، ينتج عزم لى عندما يمر تيار يحرك الملف المتحرك . وتعيد الزنبركات اللولبية الملف المتحرك (وبالتالى المؤشر) إلى وضعه الأصيل .

(ب) تطبيقات أجهزة القياس الديناميكية الكهربائية :

مع أن هذا النوع من آلية الحركة يصلح لقياس الجهد وشدة التيارات ، إلا أنه يستخدم أولا لقياسات القدرة ، حيث أن القدرة التى يتطلبها هذا الجهاز تكون عالية نسبيا . ولهذا تستخدم هذه الأجهزة غالبا في الهندسة الكهربائية .

وهي تصلح لكل من التيار المستمر والتيار المتردد ، حيث أن عزم اللى المنتج لا يتوقف على اتجاه التيار . ويمكن استخدام أجهزة القياس الديناميكية الكهربائية الاحديدية فقط في الأماكن التى لا تتداخل فيها المجالات المغنطيسية معها (وعلى عكس هذا ، فآليات الحركة الديناميكية الكهربائية بقلب حديد تكون أقل حساسية في هذا المجال) .



شكل ٢٣٨ : تصميم آلية حركة ديناميكية كهربائية

- ١ - ملف مستدير ثابت .
- ٢ - ملف متحرك .
- ٣ - زنبركات لولبية .
- ٤ - نظام مضادة هوائى .

٧/٣ - التقييم على أجهزة القياس (الشكل ٢٣٩) .

يمكن بسهولة تمييز أى نوع من أجهزة القياس الكهربائية بالنسبة للغرض المصمم من أجله ، وهو قياس الجهود ، أو شدة التيارات ، أو القدرات . ويمكن أيضا في أغلب الحالات تصميم المدى المسروح به لجهاز القياس الكهربائى . وبالنسبة للمكونات الداخلية لجهاز القياس ،

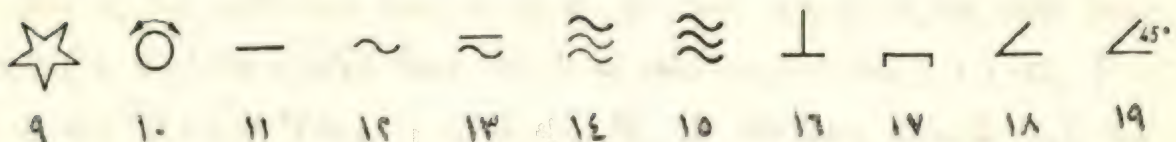
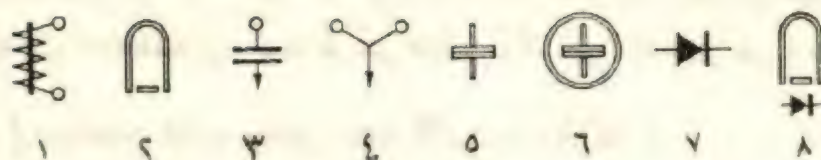
مثل نوع آلية الحركة ، ومقوم جهاز القياس المستخدم ، وطبيعة التيار فإنه لا يمكن تمييزها ببساطة بمجرد النظر . لهذا السبب ترقم أجهزة القياس الكهربائية برموز تعطى عادة على التدرج . وقد قننت أغلبية هذه الرموز دولياً .

وتبين القائمة التالية الرموز الأكثر أهمية ومدلولاتها (الشكل ٢٣٨ - أ) .

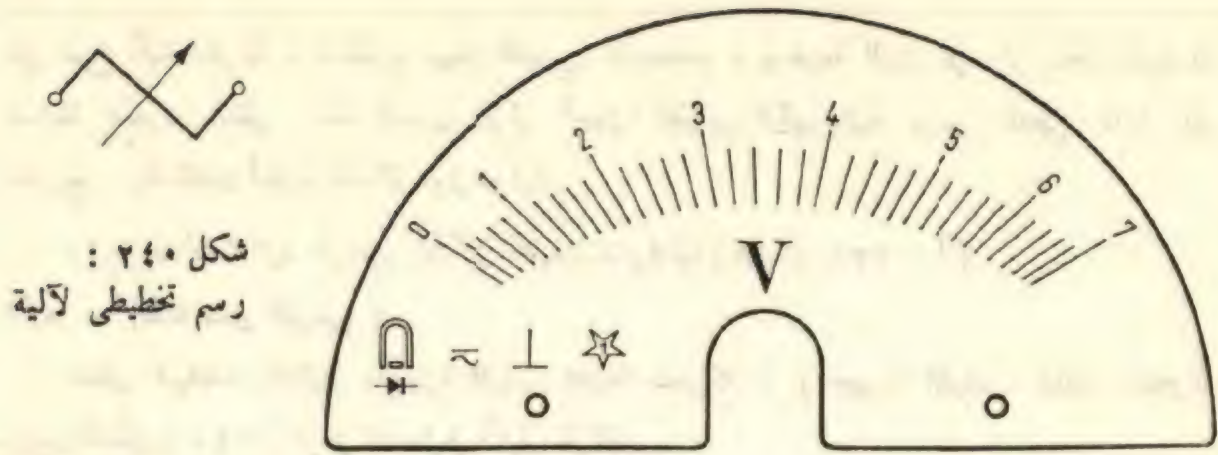
٨/٣ - إطالة مدى القياس :

تتعلق البيانات التالية بأجهزة القياس بحديدة متحركة ، وأجهزة القياس بملف متحرك وبين الشكل (٢٤٠) الرمز التخطيطي لآلية الحركة .

شكل ٢٣٨ أ :



الرمز	المعنى	الرمز	المعنى
١	جهاز قياس بحديدة متحركة	١٠	تصحيح الصفر
٢	جهاز قياس بملف متحرك	١١	تيار مستمر
٣	جهاز قياس إستاتيكي كهربائي	١٢	تيار متردد
٤	جهاز قياس بسلك ساخن	١٣	تيارات مستمرة ومترددة
٥	جهاز قياس ديناميكي كهربائي لا حديدي	١٤	جهاز قياس ثلاثي الأطوار بآلية حركة واحدة .
٦	جهاز قياس ديناميكي كهربائي بقلب حديد .	١٥	جهاز قياس ثلاثي الأطوار بثلاث آليات حركة .
٧	مقوم جاف	١٦	وضع رأسى فى الاستخدام العادى .
٨	جهاز قياس بملف متحرك بمقوم جاف .	١٧	وضع أفقى فى الاستخدام العادى .
٩	رمز جهد الاختبار (نجمة بدون رقم :	١٨	وضع مائل فى الاستخدام العادى .
	٥٠٠ فلت ، نجمة برقم ٢ : ٢٠٠٠	١٩	وضع خدمة ، زاوية منصوص عليها .
	فلط ... إلخ) .		



شكل ٢٣٩ : أمثلة للتزقيم على أجهزة القياس : البيانات المعطاة على التدريب تبين أن هذا الجهاز مزود بملف متحرك ومقوم جاف، وأنه مناسب لكل من التيار المستمر والتيار المتردد، وأنه يجب استخدامه في وضعه الرأسى فقط ، وأن جهد الاختبار هو ١٠٠٠ فلت

(١) متطلبات القدرة وعامل الجودة لآليات الحركة :

يقال عن آلية حركة أنها أحسن من غيرها إذا كان عزم لها المرتبط بكتلة العضو المتحرك (فى هذه الحالة ، يكون العضو المتحرك هو ملف متحرك ، بمحور ، وبمؤشر) ، أعلى من عزم آلية الحركة الأخرى . ونسبة عزم الى الى كتلة العضو المتحرك يعول عليها بالنسبة لجودة آلية الحركة . وللحصول على نسبة مرضية ، يجب أن تكون الزنبركات اللولبية ، على سبيل المثال ، قوية بقدر كاف لاحتجاز المؤشر فى الوضع الصحيح ، وبدقة ثابتة . وعلى الجانب الآخر ، فإن ذلك يعنى أن عزم الى يجب أن يكون له أيضا قيمة معينة . بهذا ترتفع القدرة التى تتطلبها آلية الحركة إلى مستوى معين ، وهذا يبين أن آلية الحركة يجب أن تتطابق مع مطلبين :

١ - يجب أن يكون لآلية الحركة عامل جودة عال .

٢ - يجب أن تتطلب آلية الحركة أصغر كمية بقدر الإمكان من القدرة اللازمة للتشغيل .

والقدرة التى تتطلبها آليات الحركة فى الأميترات تكون أصغر كلما صغر حاصل ضرب المقاومة الداخلية R_d للآلية فى مربع شدة التيار I ، عند الانحراف الكامل على التدريب ، وعليه تكون القدرة التى تتطلبها آلية الحركة .

$$P_d = I^2 \times R_d$$

وبالتالى ، يكون للأميتر ذى متطلب القدرة الأقل مقاومة داخلية أقل .

والقدرة التي تتطلبها آليات الحركة المستخدمة في النظمترات ، تكون أصغر إذا كانت المقاومة الداخلية لكل فلط أكبر . ويعبر دائماً عن هذه التسمية $\frac{\Omega}{\text{فلط}}$.

النسبة $\frac{\Omega}{\text{فلط}}$	القدرة التي تتطلبها آلية الحركة ت _١ بالملي أمبير
١٠٠	١٠,٠
٥٠٠	٢,٠
١٠٠٠	١,٠
١٠٠٠٠	٠,١

(ب) إطالة مدى القياس للفلمترات :

تعين قيمة المقاومة الداخلية م_د ، المتعلقة بمدى معين للقياس للجهد ج ، بواسطة تيار آلية الحركة ت_١ :

$$م_d = \frac{ج}{ت_1}$$

وإذا أعطيت الخواص المميزة لآلية الحركة ت_١ ، م_د ، يمكن حساب المقاومة م_ج التي يجب إضافتها بالتوصيل على التوالى ، بالنسبة لمدى جهد معين ج ، وذلك من الصيغة :

$$م_ج = \frac{ج}{ت_1} - م_d$$

مثال :

ما مقاومة التوالى لفلمتر ، مدى قياسه من صفر إلى ٥٠٠ فلط ، إذا كانت المقاومة الداخلية م_د = ١٠ ، وتيار آلية الحركة ت_١ = ٨ ملي أمبير ؟

المعطيات : ج = ٥٠٠ فلط

ت_١ = ٨ ملي أمبير

م_د = ١٠ Ω

المطلوب : مقاومة التوالى M_j

الحل :

$$M_j - \frac{C}{T} =$$

$$10 - \frac{1000 \times 500}{8} =$$

$$10 - 62500 =$$

$$\Omega \ 62490 =$$

لكى يبين جهاز القياس جهد ٥٠٠ فلت عند إنحراف كامل على التدريج ، يجب توصيل مقاومة قيمتها $\Omega \ 62490$ على التوالى مع آلية الحركة .

بالشكل ٢٤١ رسم تخطيطى لجهاز قياس بثلاثة مدى لقياس الجهود .

وحيث أن M_j هى نفسها المقاومة M_j ، بالمعادلة السابقة ، فيمكن تعيين مدى القياس

الثلاثة بالطريقة التالية :

$$(1) \quad M_j - \frac{C}{T} = M_j$$

$$(2) \quad \frac{(C_1 - C_2)}{T} = M_j$$

$$(3) \quad \frac{(C_2 - C_3)}{T} = M_j$$

وإذا أريد إضافة مدى للقياس أخرى ، يمكن تعيين مقاومات التوالى الإضافية اللازمة ، وذلك بنفس الطريقة .

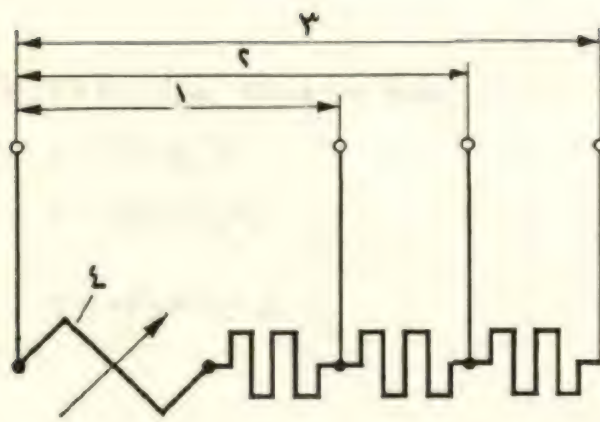
(ج) إطالة مدى القياس للأمترات :

إذا استخدم جهاز القياس لإجراء قياسات لصالح المستهلك ، فى هذه الحالة يجب أن يكون لجهاز القياس مقاومة داخلية صغيرة جدا ، إذا استخدم كأميتر ، حيث أنه فى هذه الحالة يوصل على التوالى فى الدائرة الكهربائية . ومن توائين الدوائر والشبكات الكهربائية ،

نعم أنه في حالة توصيل مقاومتين على التوازي ، تكون المقاومة الإجمالية أصغر من أصغر مقاومة فردية . وعلى ذلك ، يكون من البديهي توصيل مقاومة أخرى على التوازي مع آلية الحركة ، وذلك لتحسين مدى القياس المستخدم لقياس شدة تيار معينة . وحيث أنه في أغلب الأحيان تصنع لفات الملفات المتحركة من سلك من النحاس ، فإن كمية من الحرارة تتولد في الملف الحامل للتيار ، تؤثر على المقاومة R . لهذا السبب ، فعند استخدام آليات حركة كأميترات يجب توصيل مقاوم R_j مصنوع من مادة لا تتأثر بالحرارة (مثل المنجنين) ، لها قيمة لا تقل عن $4 \times R$ ، وذلك على التوازي مع آلية الحركة . بالشكل ٢٤٢ رسم تخطيطي لدائرة أमीتر .

وإذا رمزلدى القياس ، المرغوب فيه لأميتر ، بالرمز T ، يمكن إيجاد مقاومة التوازي R_n ، وذلك بالطريقة الآتية :

$$R_n = \frac{(R_j + R_d)}{(T - T_j)} \times T_j$$



شكل ٢٤١ : فلطمتر بثلاثة مدى للقياس

- ١ - مدى القياس I مع R_{j1}
- ٢ - مدى القياس II مع R_{j2}
- ٣ - مدى القياس III مع R_{j3}
- ٤ - آلية حركة .

مثال :

استخدمت آلية الحركة المستخدمة في المثال السابق ، كأميتر بمدى قياس من صفر إلى ٥٠ أمبير . فاقم مقاومات التوازي ومقاومات التوازي ؟

المعطيات : $T = 50$ أمبير

$T_j = 8$ مللى أمبير

$R_d = 10 \Omega$

المطلوب : M_j ، M_n

الحل :

$$(1) \quad M_j = 4 \times M_d = 10 \times 4 = 40 \, \Omega$$

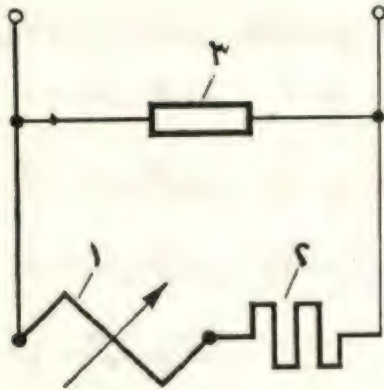
$$(2) \quad M_n = \frac{(M_j + M_d)}{t - t_m} \times 1 = 0,008 \times \frac{40 + 10}{0,008 - 0,005} = 101,7$$

$$0,008 \times \frac{50}{0,492} =$$

$$0,008 \times 101,7 =$$

$$\approx 0,814 \, \Omega$$

في هذه الحالة ، تكون لمقاومات التوالى مقاومة قيمتها $40 \, \Omega$ ، ولمقاومات التوازى مقاومة قيمتها حوالى $0,814 \, \Omega$ ، إذا كان مدى قياس الأميتر من صفر إلى $0,005$ أمبير .



شكل ٢٤٢ : أميتر بمدى واحد للقياس

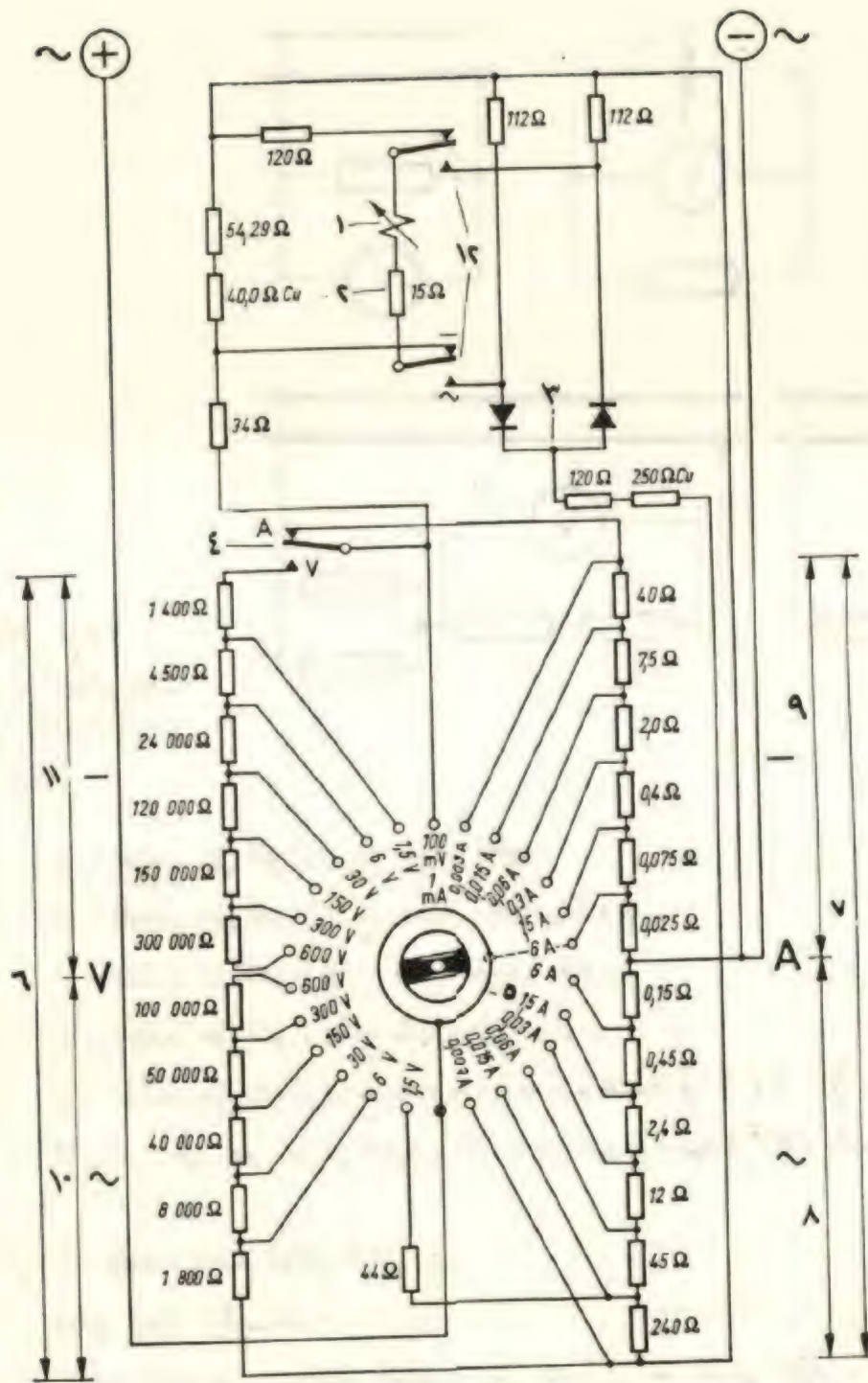
١ - آلية حركة .

٢ - مقاومة توالى M_j

٣ - مقاومة توازى M_n

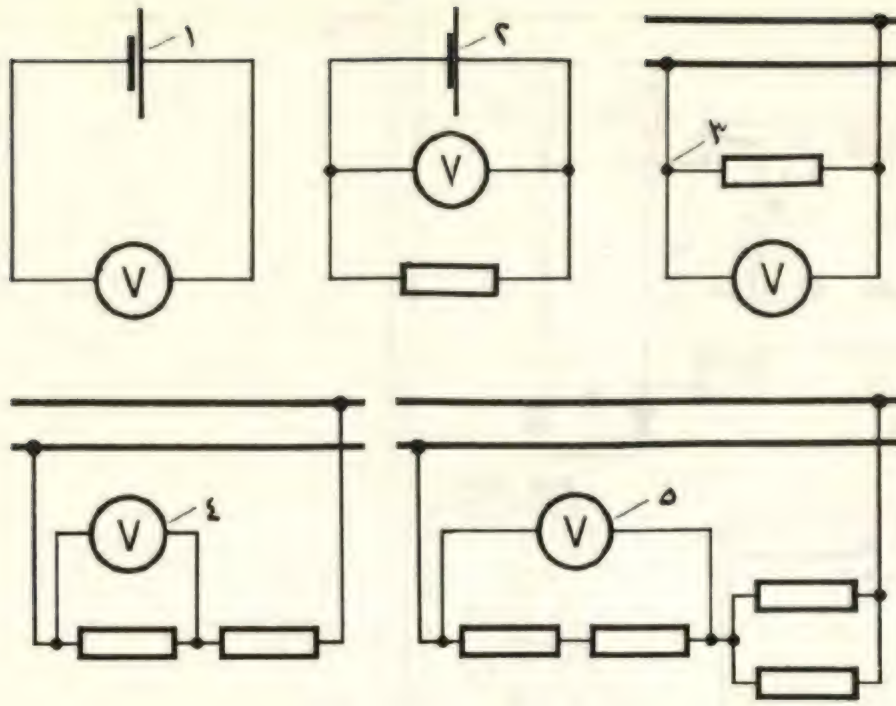
(د) جهاز القياس متعدد الأغراض للجهود وشدة التيارات :

يبين الشكل ٢١٩ جهاز قياس نقالى متعدد الأغراض ، وتوجد هذه الأجهزة بتصميمات متعددة ، ومدى للقياس مختلفة . بالشكل ٢٤٣ رسم تخطيطى لدائرة جهاز قياس متعدد الأغراض ، يستخدم لقياس الجهود وشدة التيارات ، يستخدم هذا التصميم كثيرا في أعمال الإصلاح .



شكل ٢٤٣ :
رسم تخطيطي لدائرة
جهاز قياس متعدد
الأغراض يستخدم
لقياس الجهد وشدة
التيار .

- ١ - آلية حركة .
- ٢ - مقاومة توألى لآلية الحركة .
- ٣ - مقوم قياس .
- ٤ - مفتاح كهربائى مغير للجهد وشدة التيار .
- ٥ - مفتاح كهربائى منتخب للمدى مضبوط للتيار المستمر بشدة لغاية ٦ أمبير .
- ٦ - مقاومات توألى لقياسات الجهد .
- ٧ - مقاومات توازى لقياسات التيار .
- ٨ - مدى التيار المتردد .
- ٩ - مدى التيار المستمر .
- ١٠ - مدى الجهد المتردد .
- ١١ - مدى الجهد المستمر .
- ١٢ - مفتاح كهربائى مغير لآلية الحركة (عند تشغيل المفتاح الكهربائى المنتخب للمدى) ، تشغل أيضا المفاتيح الكهربائية (٤) ، (١٢) .



شكل ٢٤٤ :
رسم تخطيطي يبين
ترتيبات لقياسات
الجهد

- ١ - فلطومتر على التوازي مع مصدر الجهد .
 - ٢ - فلطومتر على التوازي مع مصدر الجهد ومقاوم .
 - ٣ - فلطومتر على التوازي مع نظام التغذية ومقاوم .
 - ٤ - فلطومتر على التوازي مع مقاوم على التوالي .
 - ٥ - فلطومتر على التوازي مع مقاومين في شبكية مختلطة ن (٤) ، (٥)
- لا يقاس الجهد عبر مصدر الجهد ولكن يقاس هبوط الجهد في المقاومات .

٩/٣ - وصف لبضع دوائر قياس :

دوائر قياس الجهد :

لقياس الجهود ، يوصل الفلطومتر على التوازي مع مصدر الجهد ، واحد ، أو عدة أجهزة كهربائية (الشكل ٢٤٤) .

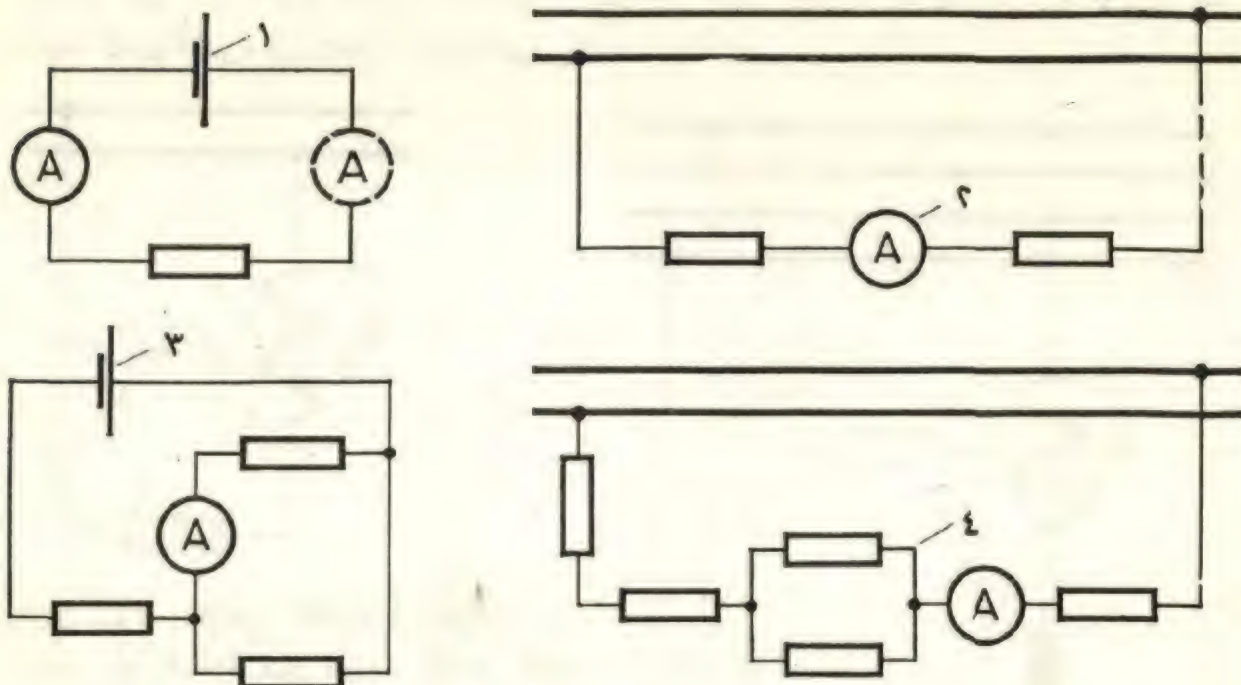
دوائر قياس التيار :

لقياس شدة التيارات ، يوصل الأميتر على التوالي مع أحد ، أو عدة أجهزة كهربائية (الشكل ٢٤٥) .

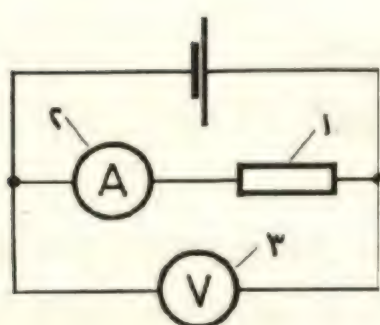
(١) دوائر قياس للتأكد من قيم المقاومات بواسطة قياسات التيار والجهد :

تسمى قياسات المقاومات بواسطة جهاز قياس المقاومة بالملف المتقاطع ، وبواسطة تنطرة المقاومة ، « بطرق قياس المقاومة المباشرة » . وتكون الطرق غير المباشرة ، هي الطرق التي

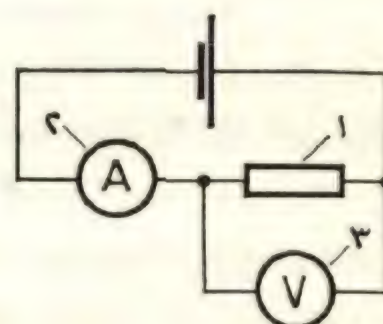
نحسب فيها الكمية المجهولة من كيتين مقاستين ، أو أكثر ، وكما هو معروف جيدا ، يمكن حساب المقاومة م من خارج قسمة $\frac{V}{I}$. وهذا يعنى ، أنه إذا أمكن قياس الجهد وشدة التيار ، يمكن حساب قيمة المقاومة م .



شكل ٢٤٥ : رسم تخطيطى لدائرة تبين ترتيبات لقياسات التيار
 ١ - أميتر على التوالى مع مقاوم .
 ٢ - أميتر على التوالى مع مقاومين .
 ٣ - أميتر موصل لقياس فرع من الدائرة .
 ٤ - أميتر فى شبكية مختلطة .

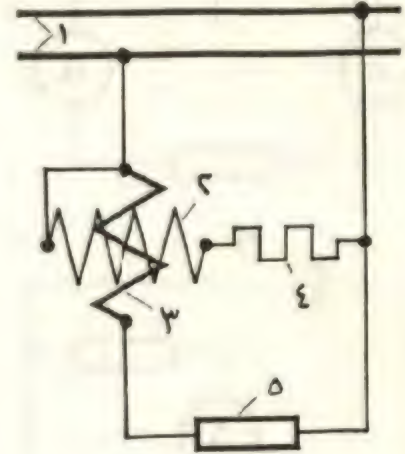
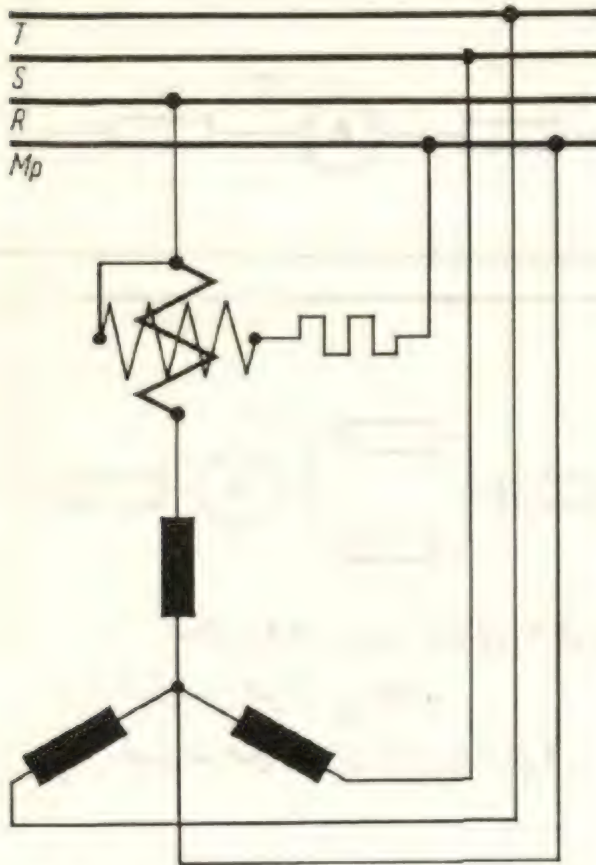


شكل ٢٤٦ : دائرة قياس مهياة لقياسات الجهد
 ١ - المقاومة المراد قياسها .
 ٢ - أميتر .
 ٣ - فلطمتر .



شكل ٢٤٧ : دائرة قياس مهياة لقياسات التيار
 ١ - المقاومة المراد قياسها .
 ٢ - أميتر .
 ٣ - فلطمتر .

وبين الشكلان ٢٤٦ ، ٢٤٧ تمثيلا لدائرتي قياس لتعيين المقاومة .
ومن هذه الأشكال ، يتبين أنه لا يمكن تجنب أخطاء القياس . وفي الشكل ٢٤٦ تشتمل قراءة الفلظمتر على الحبوط في الجهد ، الذي يسببه الأميتر . وفي الشكل ٢٤٧ ، تشتمل قراءة الأميتر على تيار الفرع المار في الفلظمتر . ويصبح تعيين المقاومة بطريقة غير مباشرة أقل دقة كلما كانت القدرة التي تتطلبها أجهزة القياس المستخدمة أكبر .



شكل ٢٤٨ : قياس القدرة في شبكية تيار مستمر أو شبكية تيار متردد أحادي الطور
١ - شبكية .

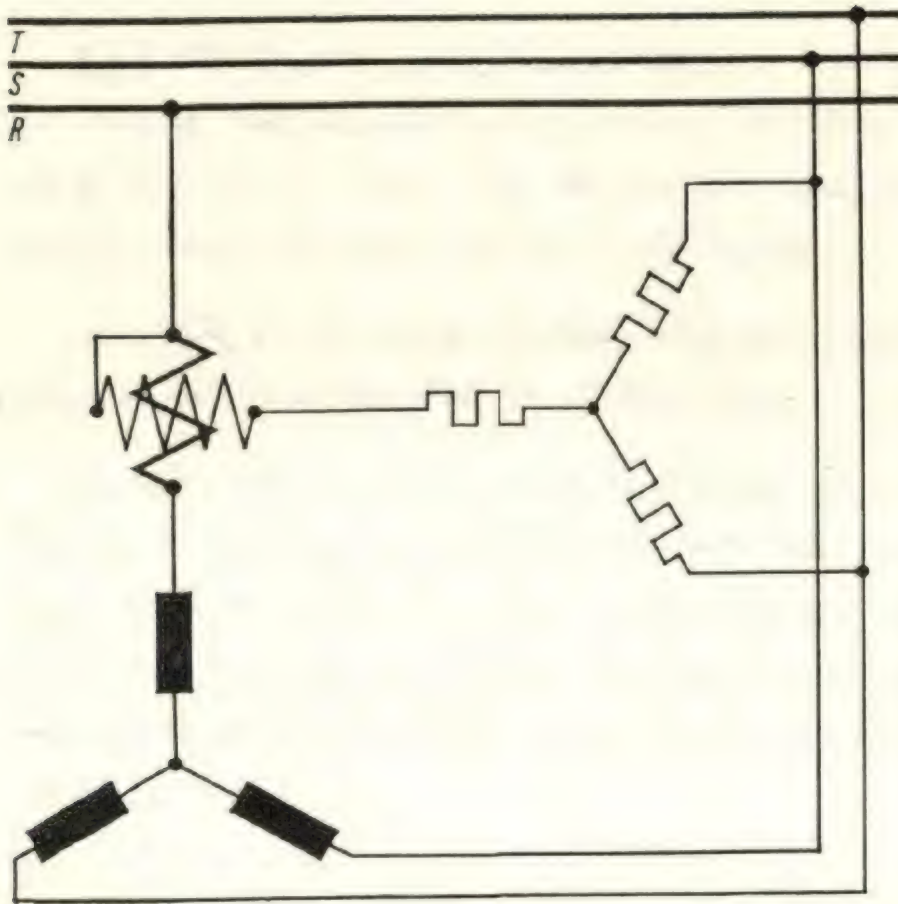
- ٢ - ملف جهد لجهاز قياس القدرة .
- ٣ - ملف تيار لجهاز قياس القدرة .
- ٤ - مقاوم تو الى .
- ٥ - جهاز كهربائي .

شكل ٢٤٩ : قياس القدرة بواسطة فلظمتر في نظام بأربعة أسلاك . في هذه الحالة تكون النتيجة دقيقة إذا كان المحول متماثلا .

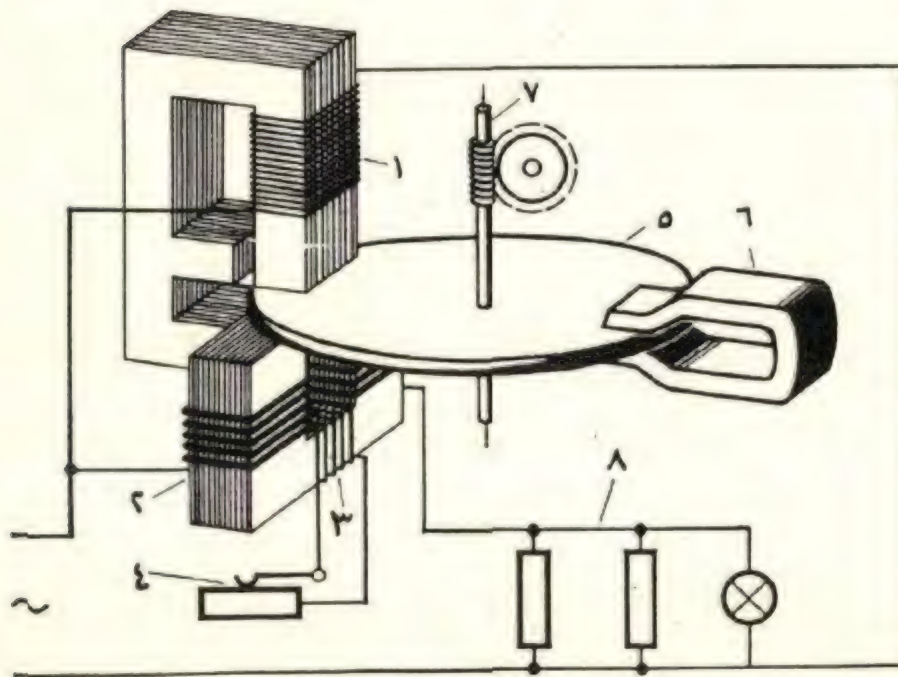
وعلى أساس هذا الطريقة يمكن تعيين المقاومات الأومية ، وبدرجة مرضية من الدقة ، إذا أعدت الدائرة لقياسات التيار ، وكانت المقاومة اداخلية للأميتر أكبر ١٠٠ مرة من أصغر قيمة من المقاومة المراد إيجادها . وفي حالة ترتيبية دائرة لقياسات الجهد ، تكون المقاومة اداخلية للفلظمتر أكبر ١٠٠ مرة من قيمة المقاومة المراد قياسها .

(ب) دائرة قياس لقياسات القدرة : (الشكل ٢٤٨)

وهي أجهزة قياس القدرة ، والتي تعرف أيضا بالواطمترات (الشكل ٢٤٩ والشكل ١٢٥) ، وهي تشتمل على آليات حركة ديناميكية كهربائية ، ومقاوم توالي ملف الجهد .



شكل ٢٥٠ : قياس القدرة بواسطة فلطمتر في نظام ثلاثة أسلاك ونقطة تعادل صناعية وفي هذه الحالة، تكون القيمة المقاسة دقيقة فقط إذا كان الحمل متماثلاً.



شكل ٢٥١ : قياس الشغل الذي يبذله تيار بواسطة جهاز قياس حتى .

- | | | |
|------------------------|----------------------|--------------------|
| ١ - ملف الجهد . | ٢ - لفيفات مساعدة . | ٣ - ملف تيار . |
| ٤ - مقاوم متغير . | ٥ - قرص ألومنيوم . | ٦ - مغنطيس مضادة . |
| ٧ - حلزون نقل للعداد . | ٨ - أجهزة كهربائية . | |

(ج) دائرة قياس لقياس الشغل الذى يبذله التيار :

يحصل على الشغل الذى يبذله التيار من \times ج \times ت \times ز للتيار المستمر ، ومن \times ج \times ت \times ز \times جتا Φ للتيار المتردد . ويقاس الشغل الذى يبذله التيار المستمر بواسطة جهاز قياس الساعة بمحرك تيار مستمر ، أو بواسطة أجهزة قياس كيميائية كهربائية .

ويبين الشكل (٢٥١) تصميم ورسم تخطيطى لدائرة جهاز قياس الساعة من النوع الحثى ، والذى يعتبر جهازا نوعيا لقياس الشغل الذى يبذله التيار المتردد .

وفى هذا الجهاز ينتج عزم لى فى قرص من الألومنيوم دوار ، وذلك بواسطة مغنطيسين كهربائيين ، يكونان مع بعض زاوية قائمة ، يحمل أحدهم التيار ، ويوصل الجهد عبر الثانى ، ويوجد ملف مساعد ، يوصل بمقاومة متغيرة ، وذلك لإنتاج إزاحة طور . يضبط عزم اللى ، ومضادة التيار الدوامى التى يسببها المغنطيس ، بحيث تدور القرص متناسبا مع \times ج \times ت \times جتا Φ . تنقل حركة الدوران إلى عداد ميكانيكى ، ويبين الشغل الذى يبذله التيار معبرا عنه بالكيلو واط ساعة (ك . و . س .) .

via	عن طريق	weston normal cell	
visible signal	إشارة مرئية		خلية ويستون الإمامية
voltage drop	هبوط لفلطية	windings	لفيفات
voltage source	مصدر الجهد	wireless	لاسلكي
		wire wound resistor	
wave	موجة		مقاوم من السلك الملفوف
wave filter	مرشح موجة	work	شغل
wave guide	دليل الموجة		
wave length	طول الموجة	zero position	وضع الصفر

size	مقاس - طراز	three - phase	ثلاثي الطور
slot	شق	thermal	حرارى
smelting furnace	فرن صهر	thermistor	ترمستور
socket outlet	مخرج مقبس	thermoplastics	لدائن حرارية
soft iron	حديد رحو (مطاوع)	thermosetting plastics	لدائن مصلدة حراريا
specimen	عينة	time constant	ثابت زمن
speed of rotation	سرعة الدوران	torque	عزم لى
spherical	كروى	torsion balance	ميزان إلتواء
spot	بقعة	toy motor	محرك كهربائى دمية
stability	اتزان - استقرار	transducer	محول طاقة
star connection (star junction)	توصيلة نجمة	transferring	نقل
startability	المقدرة على بدء الحركة	transformer	محول
stationary	ثابت	transformation	تحويل
stator	عضو ساكن	transient deflection	إنحراف عابر
steatite	إستيتيت (حجر صابونى)	transmissibility	منقولية (قابلية للنقل)
strip	خوصة	transmission	نقل
structure	تركيب	transmitter	مرسل
switch gear	مجموعة مفاتيح التشغيل	trigonometric	مثلثية
switching devices	نبايط تشغيل المفاتيح	trimming	تشذيب المصبوبات
synchronization	تزامن	tubular	أنبوبى
synchronously	بزامن	tuning oscillation	دائرة موالفة التذبذبات
system	نظام	turns	لفات
temporal	مؤقت	two - phase	ثنائى الطور
tensile force	قوة شد	type	طراز
rension	توتر	vacuum	فراغ
terminal	طرف توصيل	variable	متغير
testing	إختبار	vector	متجه
therapy	علم العلاج الطبى	velocity	سرعة

precision	دقة	repulsion	تنافر
press board	ورق مضغوط	residual magnetism	مغناطيسية متبقية
primary circuit	دائرة ابتدائية	resistance	مقاومة
primary magnetomotive force	قوة دافعة مغناطيسية ابتدائية	resistance bridge	قنطرة قياس المقاومة
propagation	إمتداد - انتشار - انتقال	resistivity	مقاومية
property	خاصية	resistor	مقاوم
prototype meter	متر إمامي	saturation	تشبع
quotient	خارج قسمة	saturation limit	حد التشبع
radial	في اتجاه نصف القطر	scale	تدرج
range	مدى	scanning	مسح
rate	معدل	schematic representation	تمثيل تخطيطي
rated voltage	جهد مقنن	screening	حجب
reactance	مفاعلة	screwdriver	مفك
reactive	غير فعال	secondary current	تيار ثانوى (تيار الملف الثانوى)
reading	قراءة	sector	قطاع
recording	مسجل	selection	إختيار
reciprocal	مقلوب	selector switch	مفتاح إنتقاء كهربائى
rectangle	مستطيل	self - induction	حث ذاتى
rectifier	مقوم	semi - conductor	شبه موصل
reed	ريشة	semolina	صميد
regulating switch	مفتاح منظم كهربائى	sensitive	حساس
relative permeability	نفاذية نسبية	shaft	عمود إدارة
relay	متابع - مرحل	short circuit	دائرة قصر
remanence	إستبقائية	short wave	موجة قصيرة
rheostat	ريوستات (مقاومة صغيرة)	sine	جيب الزاوية
rotating machine	مكنة دوارة	single phase	أحادى الطور
rotor	عضو دوار	sinusoidal	جيبى

magnetic	مغناطيسي	palm	راحة اليد
magnetic field strength	شدة المجال المغناطيسي	paper lining	بطانة من الورق
magnetism	مغناطيسية	parabolic heater	مسخن بشكل قطع مكافئ*
magnetite	مغناطيت (حجر المغناطيس)	paramagnetic	بارا مغناطيسي
magnetization	مغنطة - تمغنط	peak value	قيمة الذروة
magnetized	تمغنط	peculiarities	خصوصيات
magnetometer	مغنطومتر (جهاز قياس شدة المجالات اللا كهربية)	pendulum	بندول
magnitude	مقدار	period	دورة
measuring bridge	قنطرة قياس	periodicity	دورية
mechanical	ميكانيكي	periodic time	دورة (زمن دورى)
media	أوساط	permanent	دائم
medium	وسط	permeability	نفاذية
mesh circuit	دائرة مقفلة	permissible	مسموح به
molecule	جزيء	phenomena	ظاهرة
moving coil	جهاز قياس بملف متحرك	physician	فيزيقي
moving iron instrument	جهاز قياس بحديدية متحركة	physiological	فسيولوجي
mutual	متبادل	pivot	محور ارتكاز
necked - down	مخصر	plastics	لدائن
negative charge	شحنة سالبة	polarity	قطبية
network	شبكة	polarization	إستقطاب
neutral point	نقطة تعادل	pole	قطب
non-conductor	غير موصل	pole changer	مغير القطب
non-hardened	غير صلد	portable	نقالى
ohmic resistance	مقاومة أومية	potentral difference	فرق الجهد
oscillations	تذبذبات	potentiometer	بوتنشيو متر (مقاومة قياس فرق الجهد)
over lapping	متراكب	power factor	عامل القدرة
		power meter	عداد القدرة
		power station	محطة القوى

helical spring	زنبرك لولبي	insulation loss	فقد العزل
hertz	هيرتز (هز)	insulating material	مادة عازلة
h.f. reciever	مستقبل تردد عالى	interdependance (تبادلى)	اعتماد متبادل
h.f. transmitter	مرسل تردد عالى	interference	تداخل
high frequency	تردد عالى	interlinking	توصيل متبادل
homogeneous	متجانس	interrelation	علاقة متبادلة
hourse shoe magnet	مغناطيس على شكل حدوة حصان	intensity	شدة
hypotenuse	وتر	ironless	لا حديدى
hysteresis loop	منحنى أنشوطى للمغناطيسية المتبقية	key switch	مفتاح كهربائى بذراع
		knob	زر
immersion heater	مسخن غاطس	lag	تخلف
impregnated	مشرب بالزيت	laminated fabrics	رقائق قماش
incandescent	مصباح متوهج	laminated papers	رقائق ورق
inconformity	مطابق	lamp holder	دواة مصباح
indicating instrument	جهاز بين	leakage current	تيار تسرب
indicator	مبين	lever arm	ذراع الرافعة
indivisible	غير قابل للانقسام	limits of error	حدود الخطأ
induced current	تيار منتج بالحث	lightening arrester	مانعة صواعق
inductance	محاثة	linear	خطى
inductive	حثى	lines of flux	خطوط الفيض
inductor	محث	live part	جزء مكهرب
influence	تأثير	load	حمل
inhomogeneous	غير متجانس	longitudinal section	قطاع طولى
in parallel	على التوازي	loop	حلقة
input	دخل	low voltage	جهد منخفض
in series	على التوالى	mains	ماخذ رئيسى
installations	تركيبات	magnet	مغناطيسى
instantaneous	لحظى		

electric charges	شحنات كهربائية	equipments	معدات
electric field	مجال كهربائي	equivalent	مكافئ
electricity	كهرباء	expansion	تمدد
electricity engineering	هندسة كهربائية	factor	عامل
electric meter	عداد كهربائي	faulty connection	توصيلة خاطئة (بها عطل)
electric power	قدرة كهربائية	feed back	تغذية مرتجعة
electrifiable	قابل للتكهرب	ferromagnetic substance	عنصر على الإنفاذية المغنطيسية
electrification	كهربة	field	مجال
electro - chemical process	عمليات كيميائية كهربائية	filament resistor	مقاوم فتيلة التسخين
electrode	إلكترود	finger contact	ملامس الإصبع
electrodynamic	ديناميكي كهربائي	flasher	وحدة ومضة
electrolytic	إليكتروليتي	flux	فيض
electromagnet	مغنطيس كهربائي	foils	رقائق
electromagnetic	مغنطيس كهربائي	frequency	تردد
electrometer	جهاز قياس فرق الجهد الكهربائي	function	دالة
electromotive force	قوة دافعة كهربائية	fundamentals	أساسيات
electron dificiency	قصور لإلكترون	galvanic cell	عمود جلفاني (خلية جلفانية)
electron excess	إلكترون زائد	gap	ثغرة
electroscope	مكشاف كهربائي (إلكتروسكوب)	generation	توليد
electrostatic	إستاتيكي كهربائي	generator	مولد
electrothermal switch	مفتاح حراري كهربائي	geometric	هندسي
element	عنصر	glow lamp	مصباح متوهج
elongation	إستطالة	graduation	تدريج
energy	طاقة	harmonic oscillations	تذبذبات توافقية
equation	معادلة - صيغة		
equilibrium	إتزان		

commutator	عضو نبديل	deviation	انحراف
compact	متضام	device	نبيطة
conducting plate	لوح مرصل	diagramatic	تخطيطي
conductivity	موصلية	diamagnetic	دايا مغنطيسي
conductor	موصل	dielectric	وسط عازل
configuration	تشكيل	dielectric strength	متانة العزل
constant	ثابت	dim light	ضوء خافت
contactor	ملاص - زر تلامس	direct current	تيار مستمر
continuity	استمرارية	disc	قرص
controlling	تحكم	discharge lamp	مصباح تفريغ
converter	محول طاقة	displacement	إزاحة
coresheet	رقائق للصلب	divisibility	قابلية للتجزئة
cosine	جيب تمام	division	قسم
coulomb's law	قانون كولوم	drift velocity	سرعة الانسياب
counter	عداد	driving energy	طاقة دافعة
cross - coil ohmmeter	جهاز قياس بالملفات المتقاطعة	duration	دوام
crystalline	بلوري	dynamic effect	تأثير ديناميكي
crystal structure	تركيب بلوري	dynamo	دينامو
current intensity	شدة التيار	earthing	تأريض
cycle	دورة	earth leakage	تسرب للأرض
cylindrical	اسطواناني	eddy currents	تيارات دوامية
damping	مضائلة	effective length	طور فعال
decay	اضمحلال	efficiency	كفاءة - كفاية
decisive factor	عامل حاسم	elder pith electroscope	مكشف كهربائي بكرة من نخاع اللسان
deflection	انحراف	electrical circuit	دائرة كهربائية
delta connection	توصيلة دلتا	electrical potential	جهد كهربائي
density	كثافة	electrical tension	جهد كهربائي
deposited	مرسب	electric appliances	مستخدمات كهربائية (أجهزة تعمل بالكهرباء)

المصطلحات الفنية

absolute	مطلق	capacitance	مواسعة
accumulators	مراكم	capacitive reactance	مقاولة سعوية
air gap	ثغرة هوائية	capacitive resistance	مقاومة سعوية
alloy	سبيكة	capacitor	مواسع (مكثف كهربائي)
alternating	متردد	casing	غلاف
amber	كهرمان	cell switch	مفتاح خلايا كهربائي
ammeter (جهاز قياس شدة التيار)	أميتر	ceramic	خزفي
ampere balance	ميزان الأمبير	charges	شحنات
amplifier	مكبر	charging by influence	شحن بالتأثير
angular	زاوي	choke coil	ملف كايح للتيار
annealing furnace (تخمير)	فرن تلدين (تخمير)	characteristics	خصائص مميزة
antenna	هوائي	circular path	ممر دائري
anticlockwise direction	اتجاه عكس عقارب الساعة	circular section	مقطع دائري
armature	عضو إنتاج	circuit arrangement	ترتيبة دائرة
arrangements	ترتيبات	circuit breaker	قاطع دائرة
atom	ذرة	circuit diagram	رسم دائرة
atomic theory	النظرية الذرية	circuit elements	عناصر الدائرة
attraction	تجاذب	classifications	تصنيف
asynchronous	لامتزامن	clockwise direction	اتجاه عقارب الساعة
axle	محور	clutches	قابض
bar magnet	قضيب مغناطيسي	coefficient	معامل
bushing insulator	عازل نفاذي	coercive	قوة قهرية
buzzer	زنان	coercivity	قهرية
calibration	معاير	coil	ملف
		coil frame	إطار الملف
		communications	اتصالات

سلسلة الأسس التكنولوجية

- ١ - الجداول الفنية (-)
- ٢ - الكيمياء الصناعية
- ٣ - الرسم الفني (-)
- ٤ - أشغال الخشب (التجارة)
- ٥ - التركيبات الكهربائية (+ ×)
- ٦ - هندسة السيارات (+ ×)
- ٧ - أشغال قطع المعادن (+ ×)
- ٨ - اللحام بالغاز ١ (-)
- ٩ - اللحام بالغاز ٢ (-)
- ١٠ - الإلكترونيات
- ١١ - المخرطة
- ١٢ - الأمان الصناعي
- ١٣ - براءات التجميع
- ١٤ - هندسة الموتوسيكلات
- ١٥ - النظائر في البحث والصناعة
- ١٦ - الأساسيات الكهربائية ١
- ١٧ - الأساسيات الكهربائية ٢ (×)
- ١٨ - هندسة الجرارات (×)
- ١٩ - أشغال المعادن (×)
- ٢٠ - اللحام بالغاز ٣ (×)
- ٢١ - صناعة النسيج (×)

(-) نقد وميعاد طبعه

(+) طبعة ثانية

(×) تحت الطبع ويصدر قريبا .